

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Analýza oprav forem
pro vstřikování termoplastů
ve vybraném podniku**

Analysis of Mold Repairs
for Thermoplastic Injection
in the Selected Company

Student:	Bc. Martin Šebesta
Osobní číslo:	SEB0073
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Ivana Šajdlerová, Ph.D.

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Šebesta**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 6208T116 Průmyslové inženýrství
Téma: **Analýza oprav forem pro vstřikování termoplastů ve vybraném podniku**
Analysis of Mold Repairs for Thermoplastic Injection in the Selected Company
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika řešené problematiky. Základní pojmy.
2. Analýza současného stavu s ohledem na řešenou problematiku.
3. Vyhodnocení analýzy, identifikace problémů ve vybraných oblastech.
4. Vlastní návrhy na zlepšení.
5. Celkové zhodnocení přínosu práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

TOMEK, G. a V. VÁVROVÁ. *Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. Praha: Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-4486-5.
KOŠTURIÁK, J. a Z. FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006. 237 s. ISBN 80-86851-38-9.
KEŘKOVSKÝ, M. *Moderní přístupy k řízení výroby*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, s. r. o., 2009. 137 s. ISBN 978-80-740-0119-2.
ŠAJDLEROVÁ, I. *Organizace a řízení výroby*. Ostrava: Fakulta strojní VŠB – TUO, 2012. 223 s. ISBN 978-80-248-2775-9.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ivana Šajdlerová, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o normování strojní dílny od firmy Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o., firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 18. květen 2020.


.....

Podpis studenta

Prohlášení spolupracujícího podniku

Souhlasíme se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v diplomových studijních programech VŠB-TU Ostrava.

Spolupracující podnik:

Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o. sídlem ve Vrbně pod Pradědem

Zastoupená jednatelem společnosti:

Ing. Paulem Budowskim

RNDr. Svatoplukem Májem

Ing. Jakub Remeš

Podpis oprávněné osoby

Ve Vrbně pod Pradědem dne 18. května 2020

 **Husqvarna**
Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o.
TECHNOLOGIE PLASTIKÁŘSKÉ VÝROBY
766 26 VRBNĚ POD PRADĚDEM

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. květen 2020



Podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ŠEBESTA, M. *Analýza oprav forem pro vstřikování termoplastů ve vybraném podniku: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2020, 60 s. Vedoucí práce: Šajdlerová, I.

Diplomová práce se zabývá analýzou oprav forem pro vstřikování termoplastů ve vybraném podniku. V úvodu je představena firma Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o. a současný stav oprav forem procházející strojní dílnou. V následujících bodech jsou představeny různě používané normovací techniky a jejich historie, je proveden analytický rozbor dané situace ve vybraném softwaru pro analýzy a statistiku a jsou rozebrány typy opravy ve firmě. Závěrem jsou navržena časová řešení a je provedeno celkové zhodnocení přínosu práce.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

ŠEBESTA, M. *Analysis of Mold Repairs for Thermoplastic Injection in the Selected Company: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie EN, 2020, 60 s. Thesis head: Šajdlerová, I.

The diploma thesis deals with the analysis of repairs of molds for injection molding of thermoplastics in a selected company. Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o. and the current state of mold repairs passing through the machine shop are presented in the introduction. In the following points, the variously used standardization techniques and their history, analytical analysis of the situation in the SPSS system and analyzed types of repairs in the company Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o are showed. Finally, time solutions and an overall evaluation of the benefits of the work are proposed.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod	9
1 Obecná charakteristika řešené problematiky	10
1.1 Technologie pro vstřikování plastů	10
1.1.1 Provoz, údržba a opravy vstřikovacích forem	11
1.2 Analytické metody a program SPSS	13
1.2.1 Grafické výstupy	13
1.2.2 Analytické metody	16
1.2.3 Software	20
1.3 Základní typy normování	22
1.3.1 Pracovní normy a normy spotřeby práce	23
1.3.2 Výrobní proces a jeho členění	24
1.3.3 Metody zkoumání práce	25
2 Cíle práce	27
3 Analýza současného stavu	28
3.1 Představení podniku Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o.	28
3.1.1 Výrobní činnost	28
3.1.2 Hospodářská činnost	30
3.1.3 Předpis Údržby III ve firmě Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o.	31
3.2 Analýza dat – současný stav	32
3.2.1 Načtení dat	32
3.2.2 Popis datového souboru	32
3.3 Analýza datového souboru	36
3.3.1 Základní vztahy mezi proměnnými	36
3.3.2 Analýza souboru dle rozhodovacího algoritmu	39
3.3.3 Analýza souboru dle jednotlivých záznamů	46
4 Vyhodnocení analýz a identifikace problémů	50
5 Návrh řešení – doporučení	51
6 Celkové zhodnocení přínosu práce a závěr	55
7 Seznam použité literatury	56
7.1 Seznam obrázků	58
7.2 Seznam grafů	59
7.3 Seznam tabulek	60

Seznam použitých značek a symbolů

BO	– běžná oprava
ERP	– Enterprise Resource Planning – plánování podnikových zdrojů
OF	– oprava formy
PF	– práce na formě
PU	– povinná údržba
SAP	– Systems-Applications-Products in data processing
SPSS	– Statistical Package for the Social Sciences – software pro analýzy a statistiku
THP	– technickohospodářský pracovník
UF	– úprava formy
VD	– výměna datumovky
VV	– výměna vložky

Úvod

V době čtvrté průmyslové revoluce (tzv. Průmysl 4.0) se velké množství softwarových firem předhání ve vytvoření stále dokonalejšího ERP systému, aby co nejvíce korespondoval se smart technologiemi. To je ovšem jedna ze slabin dnešních výrobních společností. I přes dokonalé ERP systémy, které shromažďují obrovská množství dat, se v těchto firmách nenajde nikdo, kdo by s těmito daty uměl pracovat a kdo by tato data správně prezentoval. Tyto systémy neví, ač můžou být firmám šité na míru, co v daný okamžik firma potřebuje a zda informace do nich nahraná je správná. Je málo firem, které mají vytvořená analytická střediska a opírají se o jejich zpracované informace ve svých podnikových strategiích.

Trendem v dnešních podnicích spíše bývá snižování počtu THP pracovníků a spoléhání se na neprověřená a nezpracovaná data, ale tyto firmy zapomínají, že i ERP systémy musí někdo obsluhovat a informace do nich vložené musí být prověřeny. V tomto okamžiku musí THP informaci ověřit přímo na dílně/provoze a snažit se eliminovat mnohdy velmi opomíjený faktor lidské chyby, který se přímo od dílenských pracovníků dostává do řídicího systému.

Firma Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o. projevila zájem, v rámci reorganizace střediska nástrojárna, o analýzu možnosti nastavení norem nad opravami a údržbou forem. Tvorba norem, kontrola a zdokonalování celkového procesu oprav a údržby jsou pro firmu důležité z hlediska efektivního plánování, kontroly celkového procesu a ekonomického vyhodnocování zakázek.

Cílem diplomové práce je analýza oprav forem pro vstřikování termoplastů v podniku Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o. s ohledem na určení časové náročnosti opravy. Na základě vyhodnocení stávajícího systému oprav a údržby forem by mělo být navrženo nastavení systému takovým způsobem, aby bylo možné i u nových typů forem objektivně nastavit délku/čas opravy nebo údržby.

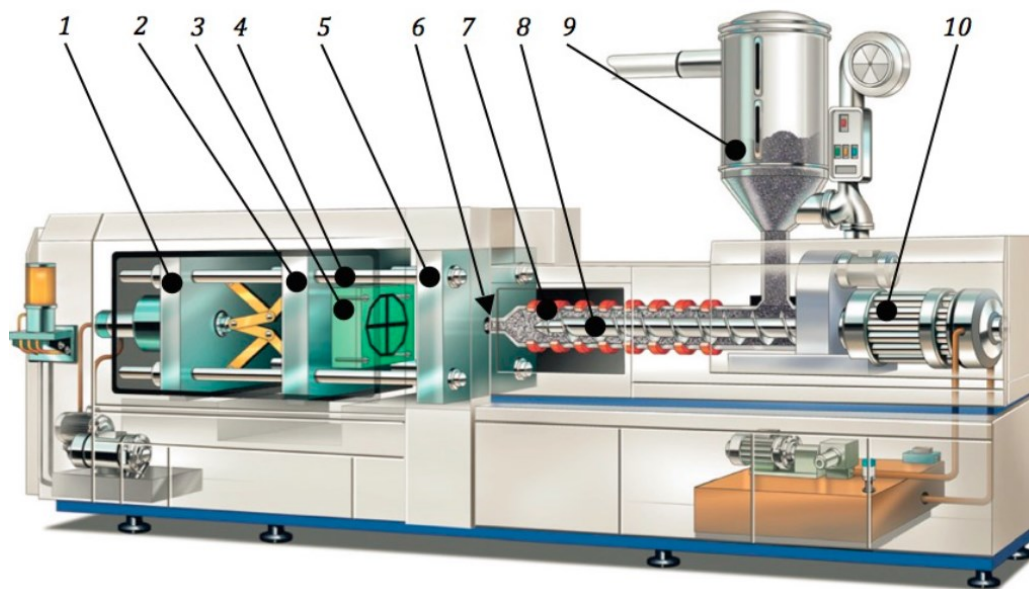
1 Obecná charakteristika řešené problematiky

V této kapitole jsou přiblíženy základní výzvy a požadavky na vstřikování plastů, které tuto technologii čekají v budoucích letech. Představení analytických metod, které jsou použity v dalších kapitolách, a program IBM SPSS Statistics 25. Poslední část je věnovaná základním typům a způsobům normování, jejich provádění a další metodice.

1.1 Technologie pro vstřikování plastů

Plasty jsou ze syntetických, polysyntetických, příp. přírodních materiálů, jejichž většinou část tvoří polymery (makromolekula, která je složena vzájemně spojenými atomy nebo jejich skupinami, tato struktura odlišuje polymery od dalších druhů materiálů). Jinými slovy jde o řetězce většinou uhlíkových sloučenin. K výrobě se využívá celá řada látek, jako například ropa, uhlí a další přírodní látky. [1]

Plasty jsou svým složením makromolekuly, které je možné tvářením a jinými úpravami s pomocí technologií měnit na požadované výrobky nebo polotovary, které mohou být využity pro další zpracovávání. Lze jimi nahradit i jiné materiály. Jednou z výrazných tvářecích technologií pro zpracování plastů je technologie vstřikování, příklad vstřikovacího stroje je popsán na obrázku 1. [1]



Obrázek 1 – Vstřikovací stroj: 1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikolisu, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikolisu, 5 – pevná upínací deska vstřikolisu, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolisu, 7 – tavicí komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku [2]

Ačkoli technologie vstřikování plastů dosáhla významného rozvoje, tak i nadále existují nové výzvy, díky kterým lze dosáhnout dalších pokroků [1]:

- zkracování doby dodání výrobků a inovačních cyklů,
- zpracování velkého objemu dat,
- zvyšování flexibility a reakce na kolísání požadavku trhů,
- tlak na vysokou produktivitu a účinnost výroby,
- požadavky na snižování nákladů.

Pro splnění výše uvedených bodů je jedinou možnou technologií automatizace, která se transformuje do aktivit Průmyslu 4.0. Automatizaci lze popsat těmito postupnými přístupy [1]:

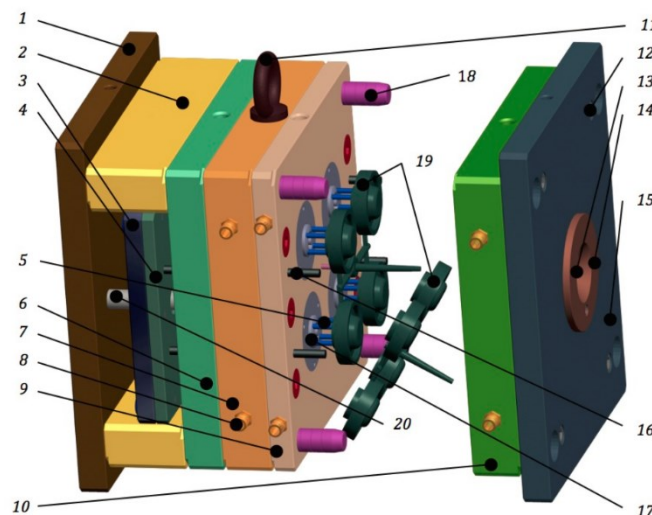
- optimalizace a vzájemné automatizační propojení celého výrobního procesu pomocí nových inovativních softwarových systémů,
- organizace a optimalizace výroby prostřednictvím kyberneticko-fyzických systémů (CPS), chytré továrny, Průmysl 4.0.

Aby mohly být cíle Průmyslu 4.0 splněny, je nutnost zajištění provázanosti průmyslu a vzdělávání. Tyto myšlenky vychází z faktu, že výrobní zařízení moderního typu lze pořídit velmi rychle, ovšem zkušený a kvalifikovaný personál je nutné postupně zaškolovat. [1], [3]

1.1.1 Provoz, údržba a opravy vstřikovacích forem

Při stanovování ceny zakázky na výrobu formy, je nutné si uvědomit, že cena formy je pouze orientační. Při této kalkulaci je nutné počítat i s její údržbou, provozem a opravami. Konečnou rentabilitu zakázky dostaneme až v okamžiku, když je forma vyšrotována. Na provoz, údržbu a opravy forem má výrazný vliv **konstrukce dílce, materiál dílce a vlastní konstrukce formy** (příklad formy je na obrázku 2). Pro správnou funkci vstřikovací formy je nutné zajistit optimální provozní podmínky, včetně podmínek pro uvedení formy do provozu. [1]

Předpoklady pro správný provoz vstřikovací formy jsou správné uskladnění formy (řádná evidence), správná manipulace, dodržování zásad pro správnou montáž a demontáž formy, dodržování zásad provozu forem s horkými vtokovými rozvody, správné seřízení vstřikovací formy, připojení a propojení všech energetických zdrojů, podmínky provozu a kvalifikace pracovníků. [1]



Obrázek 2 – Otevřená dvoudesková vstřikovací forma: 1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěra, 3 – hlavní vyhazovací deska, 4 – přidržovací vyhazovací deska, 5 – vyhazovač, 6 – podpěrná deska, 7 – „B“ deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – „C“ deska, 10 – „A“ deska, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 – upínací deska pevné části vstřikovací formy, 16 – vracecí kolíky, 17 – pevné jádro, 18 – vodící sloupky, 19 – vstřikovaný díl, 20 – podpěrné válce [2]

Údržba – důvody, definice

Údržba je organizace životního cyklu hmotného majetku, s cílem dosáhnout nejnižších nákladů po dobu životnosti, spolu s jeho maximální využitelností, provozu schopností a nejvyšší kvalitou. [1]

Základní hlediska dělení vstřikovacích forem [1]:

- počet tvarových dutin: jednonásobné a vícenásobné,
- typ vstřiku: se vstřikováním do osy formy nebo do dělicí roviny formy, popř. kombinace,
- podle uspořádání: dvoudeskové, třideskové, dvoudeskové s horkým rozvodným systémem,
- podle konstrukce: jednoduché, čelistové, s posuvnými jádry, závitové, etážové atd.,
- podle vstřikovaného materiálu: formy pro termoplasty a reaktoplasty.

Typy údržby [3]:

- oprava po poruše,
- plánovaná preventivní údržba,
- prediktivní údržba,
- totální produktivní údržby.

Při udržení efektivního systému údržby forem, je nutné se vyvarovat rezistenci pracovníků údržby, kdy pracovníci zaujímají negativní postoj k inovacím při údržbě, ke změnám v postupech a k nařízením vedoucích. Dalšími negativními faktory jsou například nedostatek času neboli situace, kdy údržba není schopna připravit formy do výroby, a nedostatečná práce s informacemi (špatná evidence, nepředání důležitých informací o provozu formy, o stavu po skončení výrobní dávky). [1]

Nejčastější úkony prováděné při údržbě forem [1]:

- čištění, případné odmaštění funkčních tvarů a systémů formy od usazenin vzniklých při výrobě vstřiků,
- odstranění zbytků (otřepy, zoxidované mazivo, atd.) z míst vzájemného styku pohyblivých částí formy,
- funkční promazání všech pohyblivých částí formy,
- kontrola a opravy temperačních systémů, horkých systémů, jistících prvků, pohyblivých částí formy,
- kontrola, funkčnosti těsnosti, a opravy hydraulických nebo pneumatických systémů, vyčištění odvzdušnění, oprava dosedací plochy vtokové vložky, správnost nastavení datumovky formy,
- konzervace tvarových částí,
- kontrola úplnosti, kompletnosti a stavu formy,
- záznam o provedených úkonech.

Opravy vstřikovacích forem

Při opravách vstřikovacích forem je důležité mít výrobní dokumentaci pro opravy forem, vzít v úvahu celou řadu vlivů, na nichž bude proces oprav závislý a podle toho nastavit správnou volbu technologie a postupů oprav. V případě zadírání nebo koroze pohyblivých částí je dobré vhodně zvolit technologii pro povrchovou úpravu. Opravy opotřebovaných nebo mechanicky poškozených částí vstřikovacích forem lze opravovat, buď nanášením kovu na poškozená místa nebo vložkováním opotřebovaných nebo porušených částí, respektive jejich výměnou. [1]

1.2 Analytické metody a program SPSS

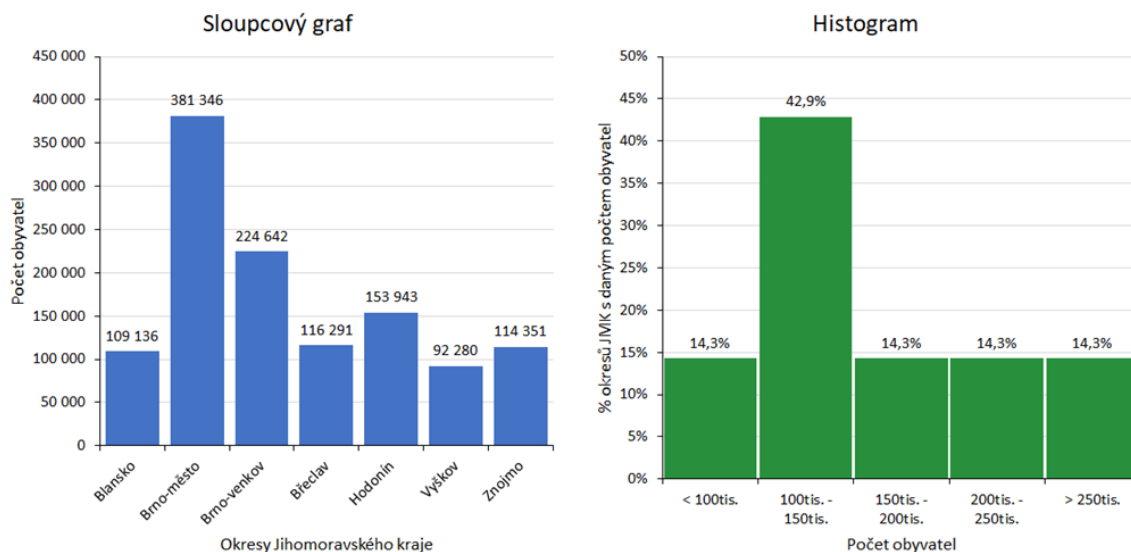
Podkapitola se zabývá specifikací analytických metod a grafických výstupů.

1.2.1 Grafické výstupy

Histogram

Jako jedna forma grafického výstupu je využit histogram. Jde o graf, který připomíná sloupcový graf (obrázek 3), ale na rozdíl od něj umožňuje zobrazit intervaly na vodorovné ose (osa x) a k tomu

vázanou informaci ze svislé osy (osy y), která představuje četnost jednotlivých pozorování. Histogram je vhodný graf i pro vizuální posouzení normality dat (viz text níže). [4]

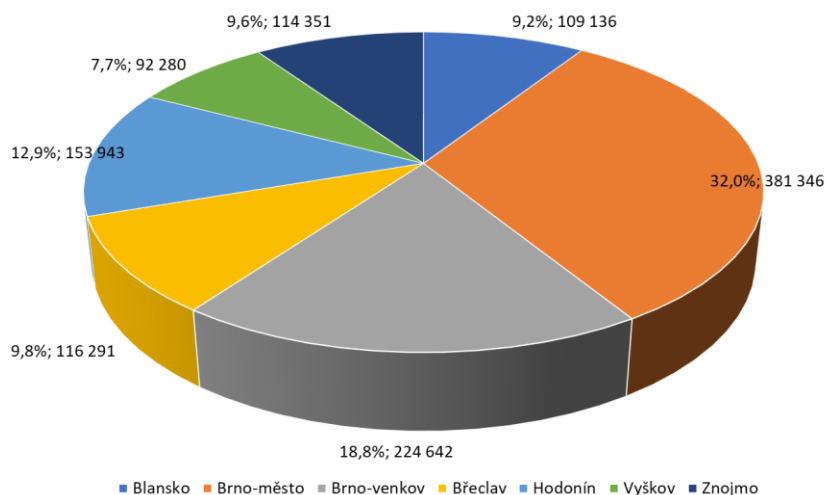


Obrázek 3 – Znárodnění rozdílu mezi sloupcovým grafem a histogramem

Na Obrázku 3 je ukázán rozdíl mezi sloupcovým grafem a histogramem. U sloupcového grafu výška sloupce představuje počet statistických jednotek určité kategorie, zatímco u histogramu sloupce zobrazují intervaly hodnot, přičemž tyto intervaly musí mít stejnou šířku. Volba šířky intervalů má pak velký vliv na výslednou interpretaci. [4]

Koláčový graf

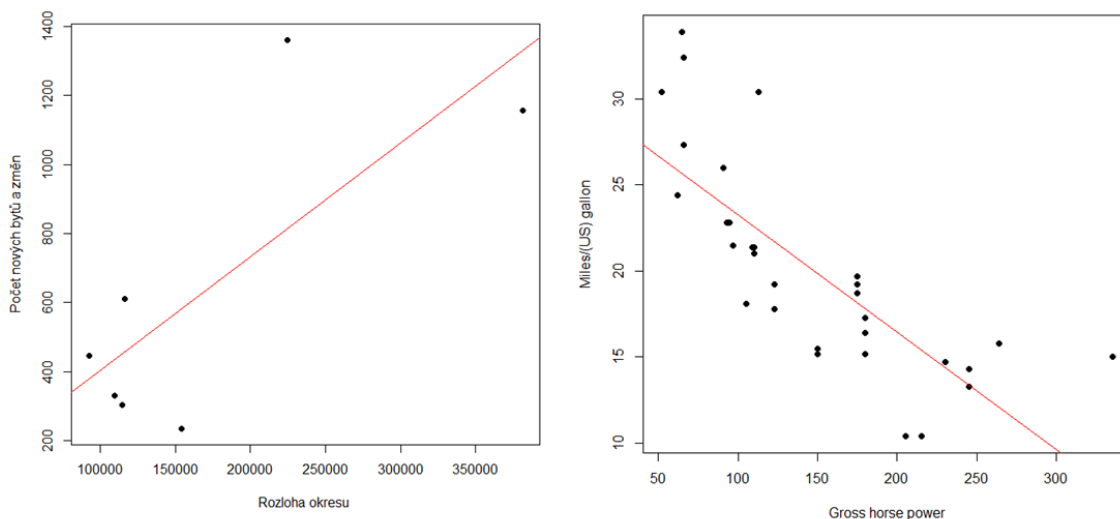
Druhým grafem, který je v práci použit se nazývá koláčový graf (obrázek 4). Graf představuje strukturu sledované veličiny, která je zobrazena jednotlivými výseči. Celý koláč dává dohromady 100 % zájmové veličiny a jednotlivé jeho výseče obsahují menší nebo rovno procentu celku.



Obrázek 4 – Příklad koláčového grafu

Korelační graf

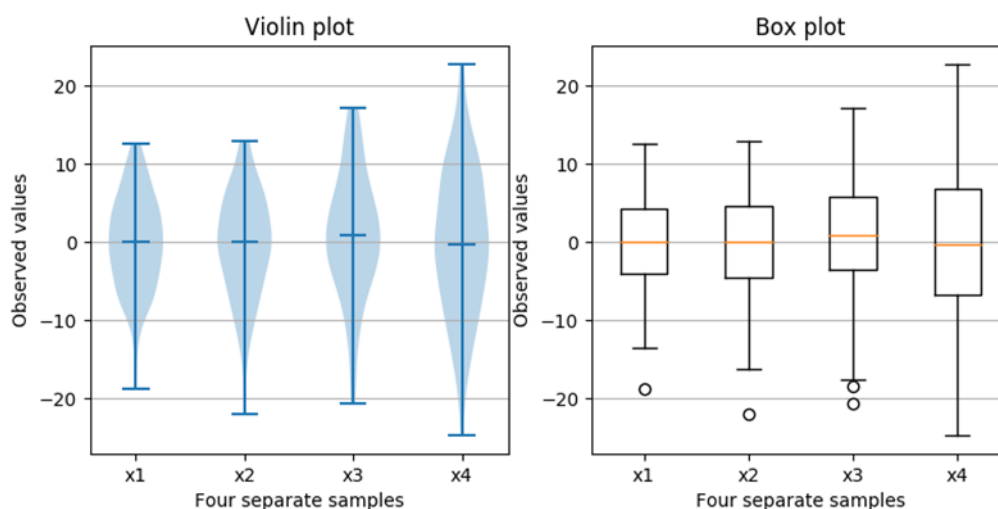
Korelační graf je bodovým grafem, který zobrazuje jednu či vztah dvou a více vybraných proměnných. Hodnoty jsou znázorněny body v prostoru a lze tak zhodnotit jejich vzájemnou závislost (obrázek 5). [4]



Obrázek 5 – Příklad korelačního grafu

Houslový graf a Boxový graf

Houslový graf a Boxový graf jsou si velmi podobné (obrázek 6). Boxový graf ukazuje strukturu zkoumané veličiny pomocí jejich kvartilů a lze v nich najít i informaci o odlehlých hodnotách, které jsou zobrazeny jako body. Střední část grafu ("krabice") je nahoře ohraničena 3. kvartilem, dole 1. kvartilem a mezi nimi se nachází linie, která prezentuje medián. Boxploty se často vykrešlují také s liniemi, které vychází ze střední části grafu kolmo nahoru a dolů. Jedná se o tzv. vousky, které vyjadřují variabilitu dat pod prvním a nad třetím kvartilem. Ve srovnání s boxovým grafem jde houslový graf v zobrazení ještě dál a zobrazuje i hustotu rozdělení dané veličiny, jinak řečeno celkovou distribuci dat. Tato informace potom může velmi výhodná a lze poté ve sledované veličině vizuálně zhodnotit více informací najednou a například lze tímto pohledem diagnostikovat, že má zkoumaná veličina distribuci dat s více než jedním vrcholem. [5]



Obrázek 6 – Příklad houslový graf (Violin plot) a boxový graf (Box plot). [6]

1.2.2 Analytické metody

Základní pojmy

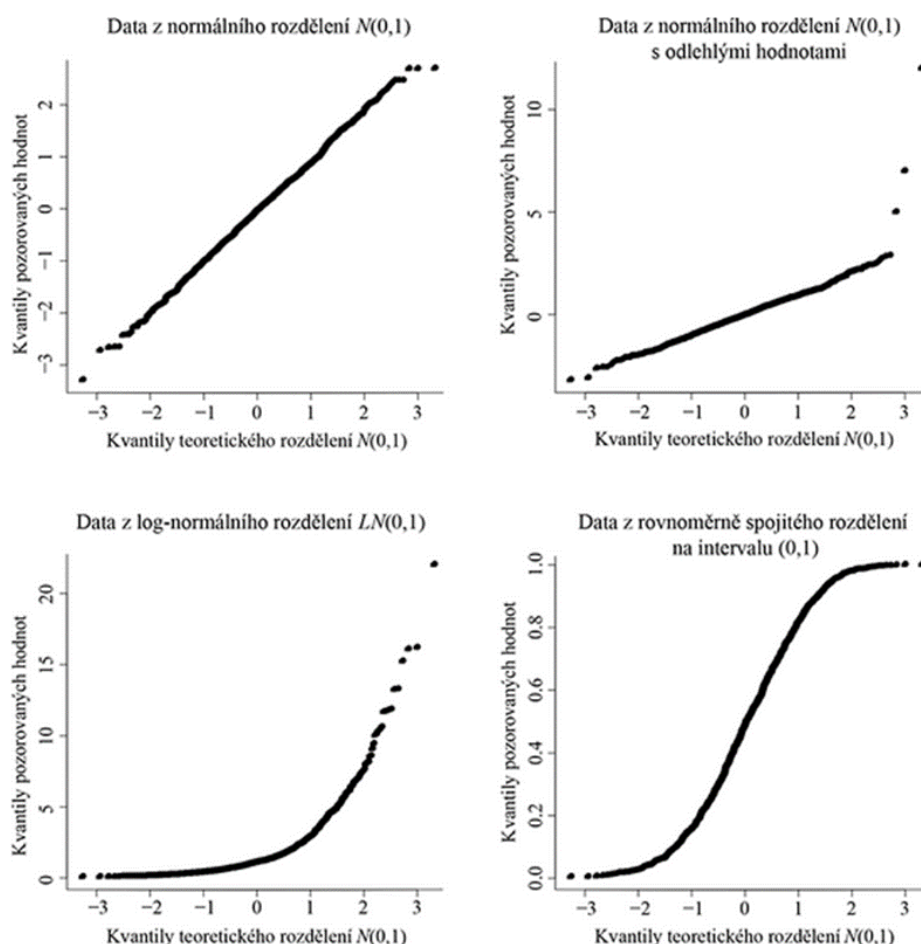
Aritmetický průměr je definován jako součet všech hodnot náhodné proměnné, vydělený počtem těchto hodnot. Průměr pak udává, jaká stejná část z úhrnu všech sledovaných hodnot proměnné připadá na jednu jednotku. Výhodou průměru je jeho snadný výpočet, avšak zásadní nevýhodou je jeho citlivost na extrémní hodnoty. Průměr je správnou charakteristikou středu souboru pouze v případě, že je soubor ve zkoumaném znaku dostatečně homogenní – odpovídá normálnímu rozdělení. Jinak, a to především u malých souborů, může být aritmetický průměr zkreslen případnými extrémními hodnotami. Průměr je často doplněn o informaci o směrodatné odchylce. Směrodatná odchylka pak vypovídá o tom, jak moc se od sebe navzájem liší jednotlivé případy. Směrodatná odchylka vždy nabývá pouze kladné hodnoty a má stejnou měrnou jednotku jako sledovaná proměnná.

Medián je definován jako 50 % kvantil, tedy jedná se o hodnotu, která se nachází přesně uprostřed řady, jejíž hodnoty musí být uspořádány dle velikosti. Jinými slovy, medián dělí uspořádaný datový soubor na poloviny. Hodnoty dané proměnné jsou to tedy v jedné polovině menší (případně rovny) než medián a v druhé pak větší než medián. V případě souboru s lichým počtem hodnot se jedná přímo o prostřední hodnotu, v případě souboru se sudým počtem hodnot existují dvě prostřední hodnoty a medián se definuje jako průměr z nich. Velkou výhodou mediánu je to, že není ovlivněn extrémními hodnotami a je vhodné ho tak použít i u souborů, které nemají normální rozložení. Medián je tedy možné použít jako vhodnou charakteristiku souboru i v případě, že neznáme rozdělení souboru. Medián je často dále doplněn o percentily. Stejně jako medián dělí soubor na dvě poloviny, pomocí percentilů lze soubor rozdělit na více částí. Často používané jsou kvartily, které dělí soubor na čtvrtiny. Ovšem soubor lze dělit i na menší části, obvykle na setiny –

tedy procenta, tyto skupiny se pak nazývají percentily. Například desetiprocentní percentil představuje hodnotu, pro kterou platí, že 10 % ostatních hodnot je menší a 90 % větší. [7]

Kontrola normality dat

Nejjednodušší testy, tzv. parametrické testy mají jako předpoklad, že sledované proměnné musí mít podmínku normality dat, tzn., jedná se o výběr pozorování z normálního rozdělení. Tato podmínka, ale nemusí být vždy splněna, protože data mohou pocházet z jiného rozdělení, mohou mít hrubé chyby nebo popřípadě mohou být i složeninou několika rozdělení. Pokud dojde k zamítnutí normality dat, musí dojít k využití neparametrických testů a metod. Hodnocení normality dat lze provést několika metodami, mezi vizuální patří histogram (který je využit i v diplomové práci) a dále jen zmiňuji Q-Q graf (obrázek 7) či graf výběrové distribuční funkce. Pro úplnost jsou uvedeny i metody testování pro hodnocení normality, a to například test Kolmogorovův-Smirnovův, Šapírovův-Wilkův test normality nebo testy dobré shody. [8]; [9]



Obrázek 7 – Příklad Q-Q grafů [7]

Korelační analýza

Korelační analýza sleduje vztah dvou a více spojitých veličin. Jak je zmíněno již výše v textu, zjistit, zda spolu nějak dvě spojitě proměnné souvislí lze bodovým grafem. Podle něj zjistíme, jak se hodnoty jedné proměnné mění v závislosti na druhé proměnné. Tento graf ale poskytne pouze vizuální zhodnocení a vztah není číselně vyjádřen a je tedy problematické říct, zda je vztah dvou spojitých veličin silný nebo slabý. Jednou z možností, jak vztah číselně ohodnotit je využít Pearsonův korelační koeficient. Koeficient nabývá hodnoty od mínus jedna včetně do plus jedna včetně. Tento koeficient však není vhodný pro proměnné, které mají odlehle hodnoty a nemají normální rozdělení. Proto byl vytvořen koeficient druhý, který se jmenuje Spearmanův korelační koeficient. Tento koeficient není citlivý na odlehle hodnoty a normalita dat není podmínkou, protože pracuje s pořadím jednotlivých hodnot. Nabývá stejného intervalu hodnot jako Pearsonův korelační koeficient, kde kladné číslo ukazuje kladnou korelaci a záporné zápornou korelaci. Pokud je hodnota nulová, znamená to, že korelace mezi proměnnými neexistuje a naopak, čím se hodnota blíží více extrémní hodnotě (1 nebo -1), tím je korelace silnější. [10]

Testování významnosti sledovaných jevů

Pro zhodnocení zkoumaných charakteristik (například průměr, medián atd.) ve dvou skupinách lze použít grafické metody, tyto metody dají pouze vizuální představu problému, ale neřeknou, zda je sledovaný jev významný či nikoli. Pro tyto situace ale byly vytvořeny metody statistického testování. Nejjednodušší testy jsou ty, které využívají předpokladu normality dat. Tento předpoklad ale nebyl v praktické části v žádném zkoumaném problému potvrzen, proto bylo nutné využít neparametrické způsoby testů, které nemají normalitu v předpokladech jejich využití. V případě zkoumání, zda střední hodnoty skupin mezi sebou nemají rozdíl (a jsou si tak velmi podobné) lze v případě normality dat využít t-test pro dva výběry. V případě nenormality dat se často používá neparametrický test pro dva výběry tzv. Mann-Whitney test. Tento test zkoumá, zda rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny v obou souborech pochází ze stejného rozdělení pravděpodobnosti. Jinak řečeno, pokud by nebyl mezi zkoumanými veličinami rozdíl, byla by průměrná pořadí pozorování podobná.

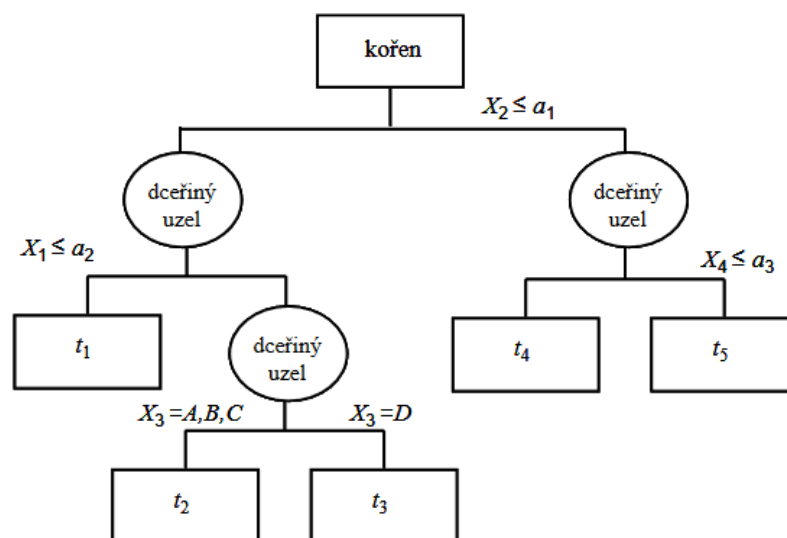
V případě, že je více skupin než dvě nelze Mann-Whitney test využít, avšak jeho zobecněním vznikl test s názvem Kruskal-Wallis test. V tomto testu lze srovnat více než dvě skupiny. Stejně jako Mann-Whitney test předpokládá (ale v tomto případě u více skupin), že pokud všechna pozorování seřadíme dle velikosti a přiřadíme k nim pořadí, tak jsou tato jejich průměrná pořadí podobná. Pokud testová statistika vyjde významně (pod p-hodnotu 0,05) lze říci, že předpoklad neplatí a existuje alespoň jeden případ, kdy průměrná pořadí si nejsou podobná. [10]

Rozhodovací stromy

Jde o modelování, které je tvořeno rozhodovacími pravidly, která jsou hierarchicky uspořádána. Typickým příkladem této metody může být například rodokmen. Rozhodovací strom je složen z kořene (celý soubor), který se dělí do větví a uzlů (roste). Příklad takového rozhodovacího stromu je obrázek 8, kde je vidět jeho jasná struktura. Pokud dojde k vytvoření uzlu, za kterým již nedochází k rozšiřování stromu, jde o terminální uzel. Nejjednodušším typem stromů jsou stromy binární, které se dělí pouze na dvě větve. Složitější variantou jsou stromy, u kterých dochází k větvení na více skupin, ty se označují jako nebinární. Vzhledem k charakteru dat v další části práce (3.2 Analýza dat), je dále popisovaná metoda CHAID (Chi-squared Automated Interaction Detection) která vytváří nebinární typ stromu. [11]

Tato metoda je pouze pro kategoriální proměnné, které se ale na rozdíl od spojitých lépe interpretují, a proto lze spojité proměnné převést na kategoriální a podmínku algoritmu splnit. Tato metoda má celkově tři fáze, kterými algoritmus slučuje, rozděluje a zastavuje růst všech prediktorů. Kritérium, podle kterého dochází k rozvětvení jednotlivých větví je v tomto CHAID algoritmu test dobré shody, ten zkoumá, zda jsou zkoumané proměnné na sobě nezávislé a vzájemně se neovlivňují. Při růstu stromu se tento test provádí zároveň pro všechny kategorie a následně se vybere největší testová statistika (nejvyšší p-hodnota). Ta totiž říká, že jsou si dané dvě kategorie nejpodobnější a lze je tedy spojit do jednoho uzlu. Růst stromu lze zastavit několika způsoby, například může dojít ke všem významným rozdělením a algoritmus již další nemůže nalézt nebo je toto zastavení nadefinováno samotným uživatelem, který definoval počet terminálních uzlů nebo počtem pozorování v jednotlivých uzlech.

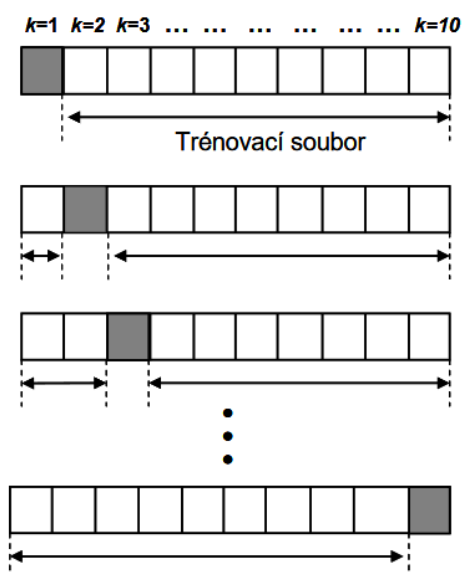
Mezi výhody CHAID algoritmu patří zejména jeho rychlost, široké možnosti větvení (metoda zvládá vytvořit vícerozměrné rozhodovací stromy a tím tvoří širokou strukturu), nenáročnost (jedinou podmínkou je velikost datového souboru, přičemž platí, že čím větší soubor je k dispozici tím lépe), další výhodou je také přehlednost vytvořeného stromu. [11]



Obrázek 8 – grafická struktura rozhodovacího stromu

Validační techniky

Po vytvoření modelu je nezbytný krok validace, tedy jeho zhodnocení. Jde o srovnání výsledků modelu s datovým souborem, který je k modelu nezávislý. Jednou z validačních technik je křížová validace. Jde o validační techniku, která pracuje s kompromisem mezi výpočetní náročností a přesností výsledku. Soubor je v tomto případě dělen na několik podsouborů. Jeden podsoubor se vyčlení a zbytek se využije pro tvorbu modelu. Po vytvoření modelu poté dojde k testování modelu právě na jedné části souboru, která nebyla využita při tvorbě modelu. Tento algoritmus se opakuje tak dlouho, dokud se testovanou množinou nestanou postupně všechny podsoubory. Zobrazení metody je na obrázku 9, kde je vidět, že pokud zvolím rozdělení souboru na deset podsouborů, bude tento algoritmus běžet desetkrát. [11]



Obrázek 9 – Princip křížové validační techniky

1.2.3 Software

IBM SPSS Statistics

IBM SPSS Statistics (Statistical Package for the Social Sciences) je celosvětově známý software. Jedná se o komplexní soubor nástrojů, určený především pro analytiku a statistiku, díky svým funkcím však nachází uplatnění například i v oblasti marketingu, financí, sociologie, psychologie nebo personalistiky. Software obsahuje bohatou nabídku statistických metod, mezi které mimo jiné patří například i reporty, testování, metody vícerozměrné statistiky, analýza časových řad, analýza přežití a další. Program disponuje rovněž efektivními nástroji pro přípravu dat, efektivně a přehledně v něm lze provést čištění, kategorizaci, transformace, výběry podsouborů.

Software má intuitivní ovládání, lze s ním pracovat dvěma způsoby. Jednak lze program ovládat pomocí uživatelských nabídek a dialogových oken, ale také pomocí syntaxového jazyka. První možnost je běžnější a obvykle pohodlnější především pro začínající uživatele, avšak syntax rovněž nabízí řadu výhod. Syntax je jazyk určený pro zadávání příkazů IBM SPSS Statistics. Příkazy uživatel

zapisuje do vlastního syntaxového okna, ve kterém je možné tyto příkazy dále upravovat, spouštět nebo uložit pro pozdější využití. Mezi výhody syntaxového jazyka patří zejména možnost zopakovat předem připravenou posloupnost příkazů, které lze uložit do samostatného souboru a kdykoli se k nim vrátit, upravit či i předat jiným uživatelům. Dále je velkou výhodou také snadná automatizace procesů, které se pravidelně opakují, čehož se využívá zejména při pravidelných reportech. Syntax slouží také k dokumentaci postupu a lze v něm vytvářet vlastní procedury a měnit parametry, které nejsou přes menu a dialogová okna dostupná. Velkou výhodou je, že pokud se uživatel rozhodne začít pracovat se syntaxí, nemusí mít žádné předchozí zkušenosti s programováním. IBM SPSS Statistics nabízí jednoduchý způsob, jak s používáním syntaxu začít, a to tak, že lze využívat tlačítko Paste, které je součástí dialogových oken programu. Tento postup přenesení zvoleného příkazu do jazyka syntaxe a uživatel jej může dále upravovat či uložit pro další použití. [12]

IBM SPSS Statistics poskytuje rovněž výhodu toho, že data může uživatel načíst a pak výsledky exportovat z/do mnoha různých formátů, existuje zde i možnost propojení s databázemi a programovacími jazyky jako je R a Python. Program samozřejmě obsahuje i nápovědu, která je v tomto případě rozsáhlá a zahrnuje široké spektrum do popisu ovládání programu, přes interpretaci výsledků až po detailní uvedení vzorců užitých pro výpočet. [12]

Software R

Software R je open-source implementací jazyka S, který používají profesionální statistické programy. Jedná se o volně šiřitelný programovací jazyk umožňující zpracování dat, a to i včetně grafických výstupů, na špičkové úrovni. Jde o programovací prostředí, které umožňuje definovat rovněž i své vlastní funkce a skripty. Ačkoli je R často považováno za statistický software, je pravděpodobně více výstižné si pod R představit prostředí, v němž jsou kromě jiného implementovány statistické metody.

Software R poskytuje širokou škálu statistických technik, mezi které například patří lineární a nelineární modelování, klasické statistické testy, analýza časových řad, klasifikace, shlukování a jiné. Jedná se o integrovanou sadu nástrojů, které umožňuje efektivně zpracovávat a ukládat data. Obsahuje sadu operátorů pro výpočty a operace s poli, zejména maticemi, zahrnuje v sobě také velké množství nástrojů pro analýzu dat a jejich grafické zobrazení.

Podstatnou výhodou jazyka R je také jeho grafika. Ta je totiž založena na systému high-level a low-level funkcí, jejichž vhodnou kombinací může uživatel dosáhnout grafického výstupu přesně dle své představy. High-level funkce vytváří kompletní graf v tom smyslu, že jsou automaticky vygenerovány osy, popisky a nadpis (za předpokladu, že si to uživatel nenastaví jinak), přičemž high-level funkce vždy vykresluje nový graf, a to i v případě, že již nějaký graf existuje a přepíše jej. Naproti tomu low-level funkce vytváří graf postupně po částech přidáváním jednotlivých informací (body, text, čáry, popisky...) do již existujícího grafu. Do grafů lze snadno v případě potřeby vkládat i matematické symboly a vzorce. Nastavení pro tvorbu grafů je voleno s maximální pečlivostí, avšak uživateli je ponechána plná kontrola nad výsledným vzhledem grafu.

R má velmi široké spektrum využití, jeho nesporná výhoda tkví v možnosti doplnění základních funkcí nepřeberným množstvím balíčků s funkcemi pro různé typy analýz. Jedná se tak o dobře navržený, jednoduchý, a především efektivní programovací jazyk.

K využívání prostředí jazyka R je nutná alespoň základní technická vybavenost uživatele, protože požadavky je totiž nutno vyjadřovat syntakticky správně v jazyce R. Software R totiž nedisponuje běžným grafickým prostředím s možností klikání dotazů pomocí menu a dialogových oken, jak je tomu u komerčních softwarů. Avšak pro uživatelsky příjemné použití byla v roce 2011 vyvinuta open source platforma R-Studio, která je kombinací syntaktického editoru, konzole jazyka R, prohlížeče definovaných proměnných, okna pro grafické výstupy, nápovědy a dalších užitečných doplňků. [13]; [14]; [15]; [16]

1.3 Základní typy normování

Normování je důležitým nástrojem pro zdokonalení organizace práce, technologických a pracovních postupů. Se zvyšující se technickou úrovní dnešní doby, zaváděním nových vyspělých technologií do výrobního procesu, modernizací a zlepšováním stávajících zařízení a snahou o mechanizaci namáhavé ruční práce, má jediný cíl a tím je zvyšování produktivity práce. [17]

Každý výrobní podnik má ve svém strategickém plánu vzestup výrobní produktivity práce a to určuje množství času, kterého je na provedení práce třeba, tedy čím kratší čas, tím vyšší produktivita. Úspora výrobního času při udržení kvality výrobku je měřítkem dokonalosti výrobního procesu a organizace výroby. [17]

Velké dopady pro plánování v podniku má normování. Podkladem pro sestavování plánů jsou technicko hospodářské normy (THN), do kterých spadají [17]:

- normy výkonu,
- pracnosti výrobku,
- využití stroje a mechanismů,
- normy spotřeby materiálu.

Pro plánování výroby a jakéhokoliv výrobku, musí být známa spotřeba výrobního času na každý díl, ze kterého se kompletní sestava výrobku skládá. Na základě těchto znalostí pro jednotlivé dílce výrobku lze stanovit normu pro celý výrobek, a to se nazývá normou pracnosti. [17]

Na základě výkonových norem a norem pracnosti se stanovují [17]:

- kapacitu plánu,
- potřebný počet pracovníků,
- plány mzdových prostředků.

Vytvoření objektivního normovacího systému má velký význam na snižování vlastních nákladů, protože objektivní snižování spotřeby živé práce má za následek snižování složky mzdových nákladů na jednotku výroby. Odhalování časových nedostatků ve výrobním procesu a tím zkracování výrobního času, nemá za následek snižování mzdových nákladů, protože úspora času znamená zvýšení produktivity práce tím, že se vyrobí více výrobků za stejnou dobu. Závislost růstu produktivity práce a snižování vlastních nákladů může mít za následek růst reálných mezd. Ekonomická účinnost úkolových mezd má závislost v kvalitě norem spotřeby práce, protože nesprávně nastavené normy jsou zpomalení efektivity a produktivity práce. [17]

1.3.1 Pracovní normy a normy spotřeby práce

Norma či standard je podrobný předpis, ustanovení, zákon nebo stanovení míry něčeho, které vede ke standardizaci. Normy uplatněné ve výrobě tvoří soustavu vzájemných na sebe vázaných a navzájem se podmiňujících norem, které se týkají technického a ekonomického pohledu na výrobu. Z celého tohoto souboru norem a předpisů mají zvláštní charakter a význam pracovní normy. [17]

Pracovní normy představují soubor předpisů, které nám určují, jakým způsobem se má nastavit práce vykonaná, jaká je k jejímu provedení potřebná kvalifikace a jaký pracovní čas je za určitých podmínek třeba k jejímu vykonání. [17]

Pracovní normy členíme na [17]; [18]:

- **normy technologického a pracovního postupu** – co se má dělat, jak se to má dělat a čím se to má dělat,
- **normy kvalifikace** – kdo má práci vykonat a jakou potřebuje kvalifikaci pro splnění pracovního úkolu,
- **normy spotřeby práce** – předpokládaná spotřeba živé práce na určitý pracovní výkon.

Normy spotřeby práce se dále dělí na **normy výkonu** a **normy obsazení**.

Normy výkonu upravují předpokládanou spotřebu živé práce pro splnění daného úkolu. Normy výkonu se používají jako měřítko spotřeby lidské práce a upravují množství času potřebného na zpracování jednotky uloženého úkolu nebo obráceně udávají výkon vyjádřený množstvím zpracovaných jednotek za jednotku času. Podle těchto kritérií se normy výkonu dále dělí na **normy času** a **normy množství**. [17]

Pro vyjádření poměru mezi počtem pracovníků a počtem jimi obsluhovaných strojů nebo jiných zařízení se zavedla norma obsazení, která dále upravuje potřebný počet pracovníků pro určitý organizační útvar, proto se normy obsazení také dělí na **normy obsluhy** a **normy potřebných stavů**. [17]

Pro zabezpečení vysoké úrovně norem spotřeby práce je nutno dodržovat tyto zásady [17]:

a) Stanovit normy spotřeby práce tak, aby:

- odrážely výsledky výsledné studie práce a racionalizaci organizace výrobního procesu,
- vyjadřovaly nutnou spotřebu času pracovníků, kteří pracují za stejných pracovních podmínek a mají pro vykonání této práce potřebnou kvalifikaci,
- zahrnovaly ekonomicky výhodnější podmínky uskutečněné na pracovišti.

b) Objektivně nastavit pracovní výkon, který odpovídá:

- maximálnímu využití pracovní doby,
- stupni pracovní zručnosti a intenzity,
- kvalifikaci a zapracovanosti,
- vlivům pracovního prostředí a ostatním podmínkám při zadávání zásad bezpečnosti a ochrany zdraví při práci,
- optimalizaci výrobního a pracovního postupu stanovených pro výkon konkrétní práce, v požadované kvalitě,
- podmínkám technickému stavu, vybavení pohotovosti a přizpůsobivosti.

c) Normy spotřeby práce nesmí obsahovat spotřebu času, která není potřebná pro průběh technologického a pracovního procesu, tj. hlavně časové ztráty, jako jsou: porušování pracovní disciplíny, v nedostatečném a organizačním zabezpečení a vybavení pracovišť potřebným nářadím a materiálem.

1.3.2 Výrobní proces a jeho členění

Výrobní proces je souhrn všech dějů probíhajících při lidmi vytvářené, organizované a řízené přeměně pracovních předmětů (surovin, energii, materiálů, polotovarů apod.) ve výsledný produkt (výrobek energie apod.) [17]

Z hlediska problematiky normování práce rozlišujeme [17]; [18]:

- **Tovární výrobní proces** – pracoviště ponejvíce stálé umístěné a předměty výroby se na pracoviště a z pracoviště obvykle přepravuje.
- **Montážní proces** – výsledný produkt se nevytváří sestavováním na místě stálého umístění, pracoviště v těchto případech není stálé, ale mění se podle místa montáže nebo její části.
- **Dopravní proces** – předmět práce nepodléhá změnám tvaru stavu, jako při klasickém výrobním procesu a dopravuje se z jednoho místa na druhé, je to dobrý ukazatel organizovanosti výroby.

Druhy postupů [17]; [19]:

- **Výrobní postup** – sled, v němž děje přeměna výchozího materiálu na výrobek.
- **Technologický postup** – sled, v němž při výrobním procesu probíhají mechanické nebo chemické změny.
- **Pracovní postup** – sled, v němž do výrobního procesu zasahuje pracovník nebo pracovníci svou prací. V jeho písemném zachycení se uvádí pořadí jednotlivých pracovních zásahů.

Operace je ukončená část výrobního procesu (postupu). Vykonává se souvisle jedním nebo několika pracovníky ve spojení s výrobním zařízením. Pro potřeby rozboru a zkoumání účelnosti práce je nutné operaci rozdělit na její dílčí složky (dílčí operace) [17]; [20]:

- **Úsek operace** – soubor pracovních zásahů (úkonů) a představuje takovou část pracovní operace, ze které by bylo možné, kdyby to bylo organizačně nutné a ekonomicky účelné, vytvořit samostatnou operaci.
- **Úkon** – souhrn pracovních pohybů pracovníka a představuje, jeho zásah určitým nástrojem nebo umístěním jednotlivé složky výrobku.
- **Sled pohybů** – taková část pracovní operace, která se dále člení na pohyby a při tom není specifická pro určitý druh operace.
- **Pohyb** – taková část pracovní operace (elementární prvek), která se dále nečlení a sama sobě nedává žádný pracovní účinek.

1.3.3 Metody zkoumání práce

Zkoumání a měření práce v pracovním procesu je prováděno pomocí pracovních snímků, což je znázorněno v tabulce 1. [17]

Tabulka 1 – Metody zkoumání práce

Druhy snímků	Rozdělení	Popis
Snímek operace		
Snímek průběhu práce	– snímek, kdy se během celé doby zapisuje druh, velikost a spotřeba času – dlouhé a nepředvídatelné operace – sledování jednotlivce i čety	
Chronometráž	plynulá	– stanovené části operace, doplňujeme pouze čas – měříme čas všech pravidelně opakujících se částí operace
	výběrová	– stanovené části operace, doplňujeme pouze čas – měříme jen vybrané části operace
	obkročná	– stanovené části operace, doplňujeme pouze čas – čas velmi krátkých částí operace
Filmový snímek	– normování dle kamerového záznamu	

Snímek pracovního dne	
Snímek jednotlivce	– pozorování je prováděno pouze u jednoho pracovníka
Snímek čety	– čas pracovníků vykonávající práci společným příkazem
Hromadný snímek	– pozorování je prováděno u několika pracovníků, kteří provádějí různé úkoly
Vlastní snímek	– neprovádí ho normovač, ale sám vykonavatel práce

2 Cíle práce

Cílem diplomové práce je:

- Podrobná analýza současného stavu oprav a údržby forem pro vstřikování plastů, za pomoci moderních metod analytických systémů;
- Rozčlenění různých typů forem do skupin podle nastavených kritérií tak, aby bylo možné určit správnou normu podle zvolených parametrů, pro opravy a údržby u stávajících nebo nových forem;
- Navrhnout doporučení, jak řešit stávající stav normování z hlediska použitých metod a vytvoření nových možností v této problematice na středisku nástrojárny.

3 Analýza současného stavu

V následující kapitole je představena firma Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o., ve které je analýza prováděna. Je popsán současný stav společnosti a její hlavní předmět podnikatelské činnosti. Dále jsou zde rozebrány oba datové soubory, jejich základní charakteristiky, zpracování a analýza. Kapitola obsahuje rozebrání základní údržby forem ve společnosti Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o. a kritická místa při jejich opravách.

3.1 Představení podniku Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o.

Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o. je českou výrobní společností, jejíž historie sahá až do roku 1867 s výrobou kovového spotřebního zboží. V současné době má firma mateřskou společnost GARDENA Manufacturing GmbH, se sídlem v Ulmu (Německo), která se zodpovídá holdingu Husqvarna AB se sídlem ve Švédsku. Firma je společnost s ručením omezeným se sídlem ve Vrbně pod Pradědem. [21]

Hlavní výrobní program společnosti [21]

- vývoj, výroba a prodej výrobků z plastu, popř. kombinace s jinými materiály,
- vývoj, výroba a prodej forem, modelů, šablon, nástrojů a jiných pomůcek pro tváření plastů,
- dodávky konstrukční a technologické dokumentace pro výrobu vstřikovacích nástrojů včetně poradenské činnosti,
- montáž pod skupin a finálních výrobků.

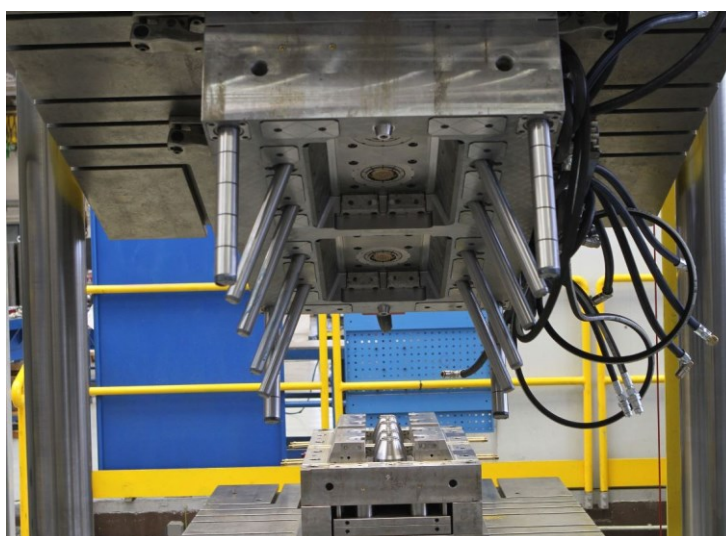
3.1.1 Výrobní činnost

Výrobní program firmy Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o. je rozdělen do dvou provozoven ve Vrbně a Bruntále.

Provozovna ve **Vrbně pod Pradědem** se opírá o dlouholetou tradici nástrojárny Husqvarna, která je především spojena s výrobou technicky a technologicky náročných forem pro vstřikování plastů. Další výrobní činnost je věnována dílům pro zahradní techniku, automobilový průmysl, domácí spotřebiče, elektrotechniku a montáž robotických sekaček. [22]



Obrázek 10 – Jedna z částí výrobního provozu – Nástrojárna [22]



Obrázek 11 – Vstříkovací forma [22]

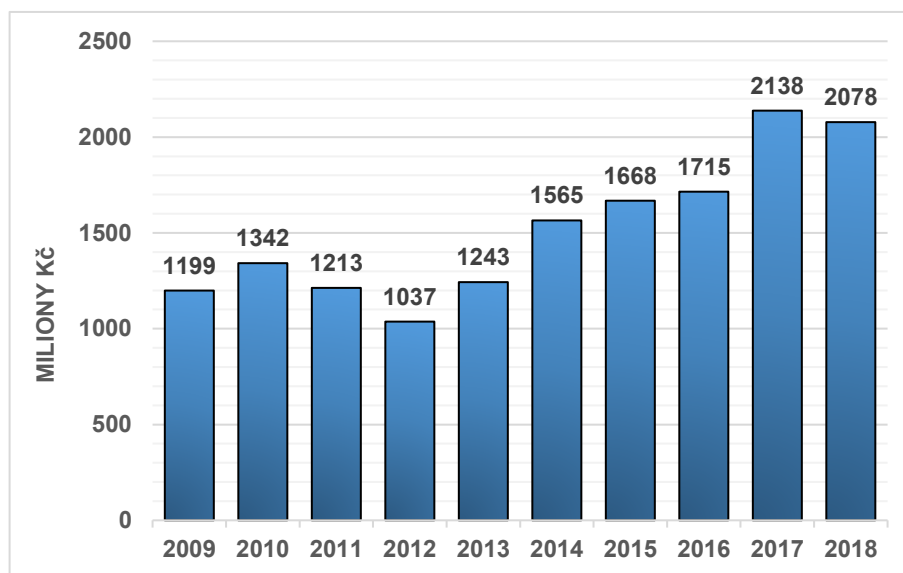
Provoz v Bruntále je specializován na montáže výrobků pro mateřskou firmu Gardena a Husqvarna. Jde především o montáže kompletů zahradních vozíků sekaček na trávě, křovinořezů a další drobnou zahradní techniku. [22]



Obrázek 12 – Montážní linka [22]

3.1.2 Hospodářská činnost

Celkový objem tržeb celé společnosti v roce 2018 dosáhl přibližně 2 078 000 000 Kč (graf 1), což byl oproti roku 2017 pokles o 3 %. V horizontu 10 let společnost vykazuje trvalý růst a díky rozšiřujícímu se portfoliu výroby je předpoklad, že tento nastavený trend bude zachován. [21]



Graf 1 – Objem tržeb v horizontu 10 let

3.1.3 Předpis Údržby III ve firmě Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o.

Jak již bylo uvedeno záměrem firmy do budoucna je specializovat výrobní program provozovny na opravy vstřikovacích forem.

Firma Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o. má zpracován Předpis Údržby III, který je pro firmu zásadní, protože dává podrobný návod pracovníkům, jak se o opotřebovanou formu starat, jakým způsobem ošetřit kritická místa.

1. Demontáž formy na jednotlivé díly.
2. Kompletní očištění jednotlivých dílů od zbytků polymerů, konzervačních a starých mazacích prostředků a nečistot.
3. Zhodnocení opotřebení jednotlivých dílů formy – AMPCO dílů, vyhazovačů, vymačkané dělicí roviny, opotřebení čelistí.
4. Namazání ošetřovaných míst. Mazivo nanášet v souvislé vrstvě tak, aby vytvořilo jen mikrofilm.
5. Provést zkoušku těsnosti hydrauliky, závady odstranit.
6. Provést zkoušku těsnosti chladících a temperačních okruhů, závady odstranit.
7. Provést kontrolu průtoku vody v chladících a temperačních okruzích. V případě zjištění závady okruhy vyčistit.
8. Kontrola horkého rozvodu a jeho funkce. Závady odstranit.
9. U Gehause kontrolovat dotažení všech tvarových kolíků se šestihranem.
10. Po smontování provést konzervaci dělicí roviny a tvarů LN prostředkem Chem Trend Lusin Protect G31.
11. Očistit formu z vnější strany – rez, olej a jiné nečistoty.
12. Zkontrolovat konektory, upínací plochy, hadice od hydrauliky, vody, závity pro oka. Závady odstranit.
13. Záznam o provedení údržby III provést také do systému IFS.

Při porovnání doporučených úkonů při údržbě forem s obecnými postupy uvedenými v kapitole 1.1.1, se jedná o správně sestavený harmonogram, který zajišťuje kvalitní údržbu.

Normy jsou pro tyto úkony nastavovány přes výpočetní systém, který má nastavené dílčí časy na jednotlivé operace a celkovým součtem těchto operací vytvoří výslednou normu. V tomto případě ovšem nejsou zohledňovány jednotlivé parametry forem a může se stát, že je norma nedostatečná nebo má naopak velkou časovou rezervu.

3.2 Analýza dat – současný stav

Kapitola popisuje datový soubor pro diplomovou práci, který byl získán ze společnosti Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o. Data představovala opravy a údržbu forem za rok 2018 a 2019. Pro datovou analýzu těchto souborů byl využit systém IBM SPSS Statistics 25 (<https://wis.vsb.cz/spss/>) a software R.

3.2.1 Načtení dat

Data pro diplomovou práci byla dodána ve formě dvou datových souborů, přičemž jeden obsahoval informaci o opravách forem z roku 2018 a druhý z části roku 2019. Pro načtení dat do výpočetního systému bylo nezbytné soubor upravit tak, aby nedošlo k nepřesnému oddělení jednotlivých proměnných. Například bylo nutné věnovat se úpravě znaků, které identifikují nový řádek nebo novou buňku. Pro samotnou analýzu pak bylo nutné, aby byly soubory spojeny do jednoho.

Výsledný datový soubor poté obsahoval 13 proměnných. První proměnná představovala identifikační číslo opravy, další identifikační číslo formy, dále SAP, název SAP, váha formy, výměna vložka, výměna lisu, typ opravy, zadání, zda byla oprava provedena, vykázané hodiny na opravě, datum zadání, datum dokončení a identifikační číslo zakázky.

Pro samotnou analýzu byly podstatné tyto proměnné:

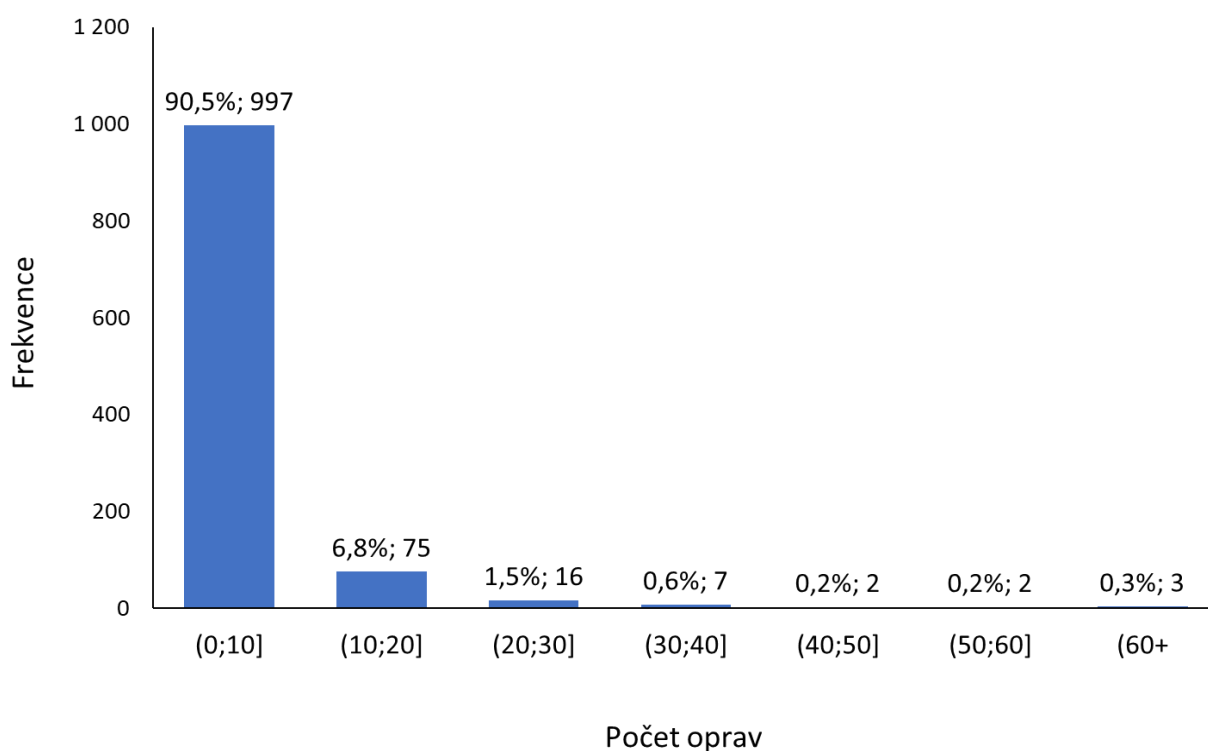
- číslo formy,
- váha formy,
- výměna vložky,
- typ opravy,
- počet hodin.

Některé z forem se v souboru mohly vyskytovat duplicitně, a to kvůli tomu, že mohou mít v průběhu sledování více oprav.

3.2.2 Popis datového souboru

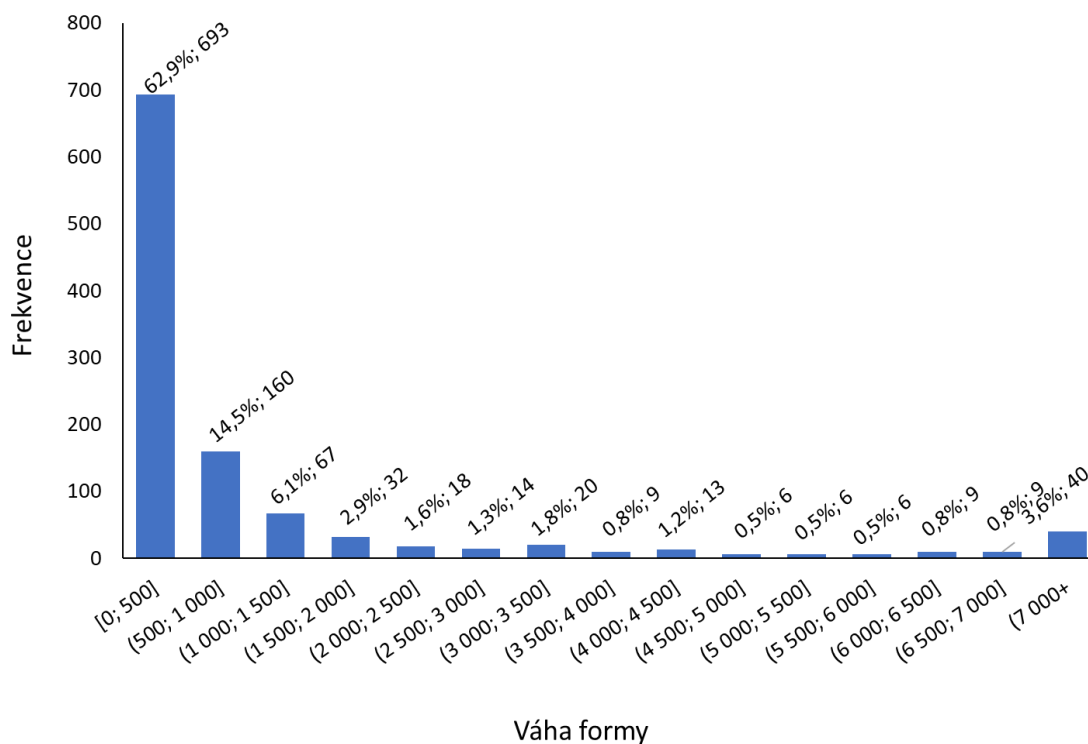
Za rok 2018 je v datovém souboru 2 715 řádků, toto číslo představuje počet jednotlivých oprav na formách. V roce 2019, který nebyl v den předání datového souboru ukončený, se jedná o 2 173 oprav. Pro další výstupy je rok opravy zanedbatelná informace a není s ní dále pracováno. Rok opravy byl využit jen pro základní vhled do problému a získání informace, kolik oprav se v jednotlivých rocích provedlo.

Za sledované období vstupovalo do oprav celkově 1 102 unikátních forem. Podle grafu 2 je zřejmé, že více jak 90 % forem podstoupilo maximálně 10 oprav. Průměrný počet oprav představuje 4,44 opravy (směrodatná odchylka 7), mediánově 2 opravy (minimum 1 a maximum 70). Dle grafu a středních hodnot je zřejmé, že je pouze málo forem, které by se daly označit za extrémně náročné, co se týče četnosti oprav.



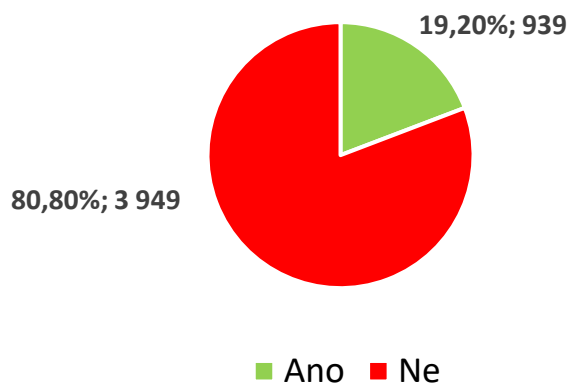
Graf 2 – Frekvence oprav forem

Další proměnná, která charakterizuje dané formy, je jejich váha v kilogramech. Váha forem je v časovém horizontu neměnná a dle datového souboru tak nedochází k její změně – je pro každou formu unikátní. Dle grafu 3, ve kterém jsou váhy forem rozděleny do stejně širokých intervalů (kromě poslední kategorie, která zahrnuje i všechny odlehlé hodnoty, tedy nejtěžší formy), je zřejmé, že četnost forem se se zvětšující vahou zmenšuje. Průměrná váha formy je 1 128,4 (směrodatná odchylka 2 215) s mediánem 305 (minimum 0 a maximum 18 000). I přes vysokou extrémní hodnotu jednotlivých forem nedošlo k odstranění záznamů, protože tyto formy neměly více než jeden tedy předpoklad, že šlo o chybný zápis je méně pravděpodobný.



Graf 3 – Frekvence oprav a váha forem (v kg)

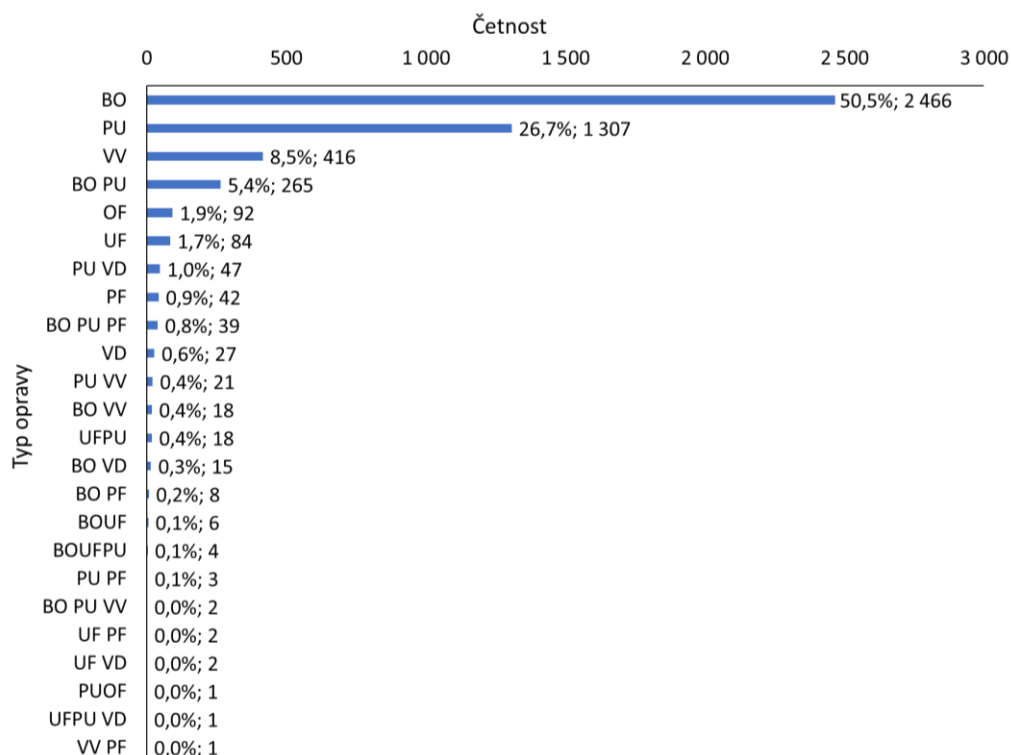
Proměnná výměna vložky, zobrazená v grafu 4, představuje úkon, který byl proveden u téměř 20 % oprav.



Graf 4 – Výměna vložky

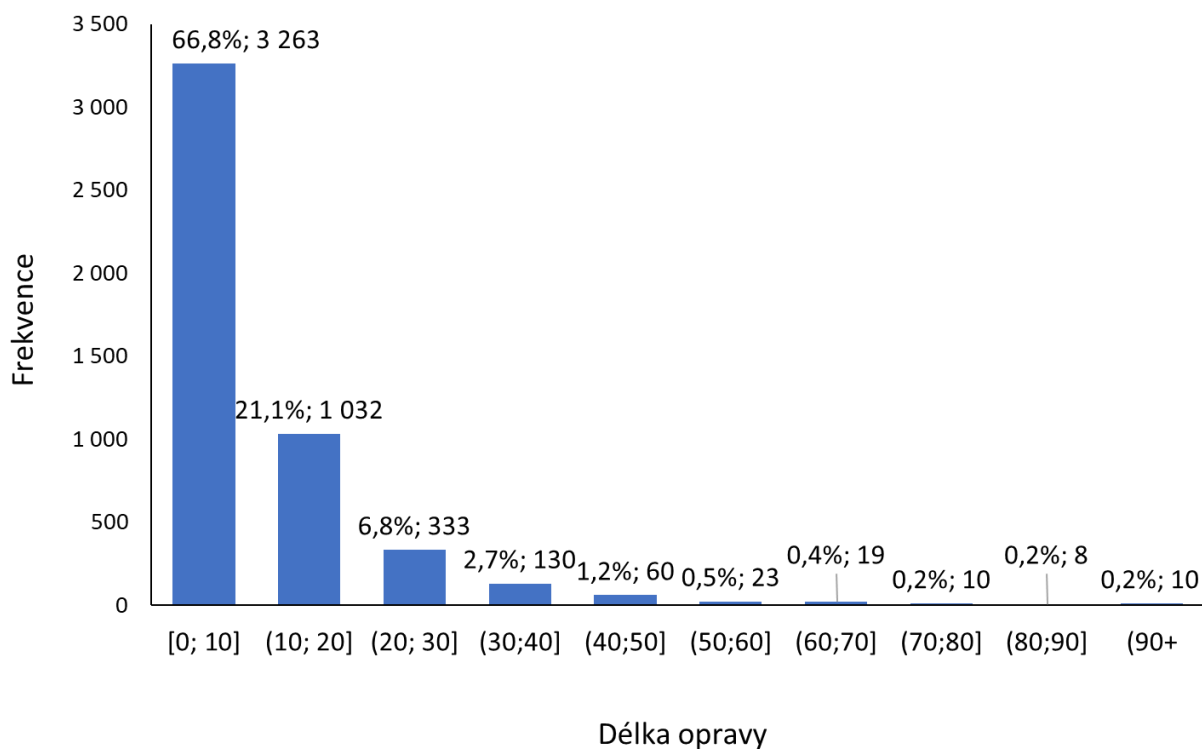
Proměnná typ opravy je kategoriálního charakteru a popisuje opravu, která byla na formě provedena. Je znázorněna v grafu 5, z něhož je patrné, že nejčastější typ opravy je BO, která byla provedena v polovině případů. Dále typ PU, který představuje 27 % oprav, další typy mají četnost menší než pod 10 %. V datovém souboru se vyskytují i opravy, které byly provedeny pouze jednou (opravy typu PUOF, UFPU, VD a VV PF). Opravy, které měly v celém souboru, a tedy v celém dostupném časovém horizontu, četnost menší než 10, nejsou do dalších výstupů, kromě základní

charakteristiky souboru, uvažovány. Jejich vzácnost by mohla být zavádějícím faktorem při procesu vytváření skupin. Dále byl odstraněn jeden řádek formy, u které nebyla vyplněna informace o typu opravy.



Graf 5 – Typ opravy

Poslední proměnnou, vyskytující se v datovém souboru, nezbytnou pro další postup při analýze dat, je spojitá proměnná délka opravy (graf 6). Jde o proměnnou, která nese informaci o počtu hodin, které byly vykázány pro konkrétní opravu dané formy. Téměř 67 % oprav bylo provedeno do 10 hodin, do 20 hodin dalších 21 %. Více hodin bylo nutné pro 12 % oprav. Hodinový průměr oprav je 10,54 hodin (směrodatná odchylka 12,27), medián 7,5 hodin (minimum 0 a maximum 199 hodin). I přes extrémní vysoké hodnoty v případě délky opravy nedošlo k odstranění těchto záznamů, protože formy, které extrémní záznamy měly, se pohybují spíše na horní hranici náročnosti z hlediska času k jediné opravě. Naopak záznamy, které měly nulovou hodinovou náročnost (172 záznamů) odstraněny byly. Jednalo se především o stornované záznamy nebo záznamy, u kterých šlo o špatně vyplněné délky opravy.



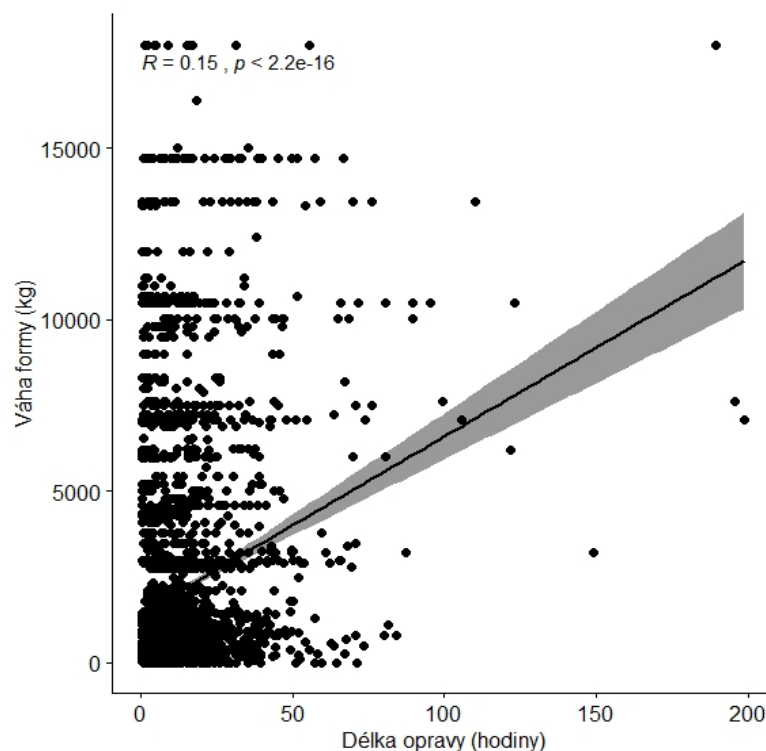
Graf 6 – Délka opravy (v hodinách)

Po odstranění výše popsaných záznamů do další analýzy vstupuje 4 688 záznamů z původních 4 888. Došlo ke smazání celkem 200 záznamů (4 % záznamů).

3.3 Analýza datového souboru

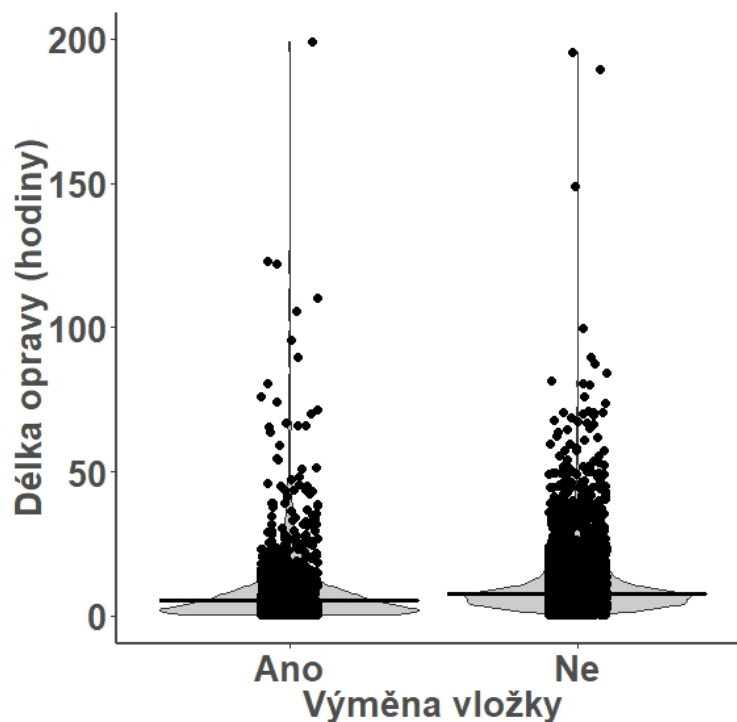
3.3.1 Základní vztahy mezi proměnnými

Pro prvotní představu o datovém souboru a závislosti mezi jednotlivými proměnnými byla zkoumána korelační závislost. Vzhledem k již výše uvedeným extrémním hodnotám a dle vizuálního zhodnocení nepřítomnosti normálního rozdělení, byl zvolen Spearmanův neparametrický koeficient. Dle grafu číslo 7 je zřetelné, že korelace mezi těmito proměnnými je statisticky významná ($p < 0,05$). Hodnota korelačního koeficientu však dosáhla pouze hodnoty 0,15, což je velmi nízká hodnota poukazující na pouze slabou závislost, a která odpovídá polovině hraniční hodnoty, která se udává jako hraniční koeficient nízké závislosti (nízký stupeň korelační závislosti se udává do 0,3). Podle grafu 7 dokonce lze pojmout podezření, zda tento koeficient nevyšel významně jen díky extrémním hodnotám délky oprav. Toto podezření se však nepodařilo prokázat. Při odstranění záznamů, které přesáhly 100 anebo 75 hodin, byl koeficient stále statisticky významný, avšak došlo k jeho mírnému zmenšení. Nízký stupeň korelace bude mít velký a negativní vliv na jakékoli snahy rozdělit délku opravy dle váhy formy a je třeba s tím počítat.



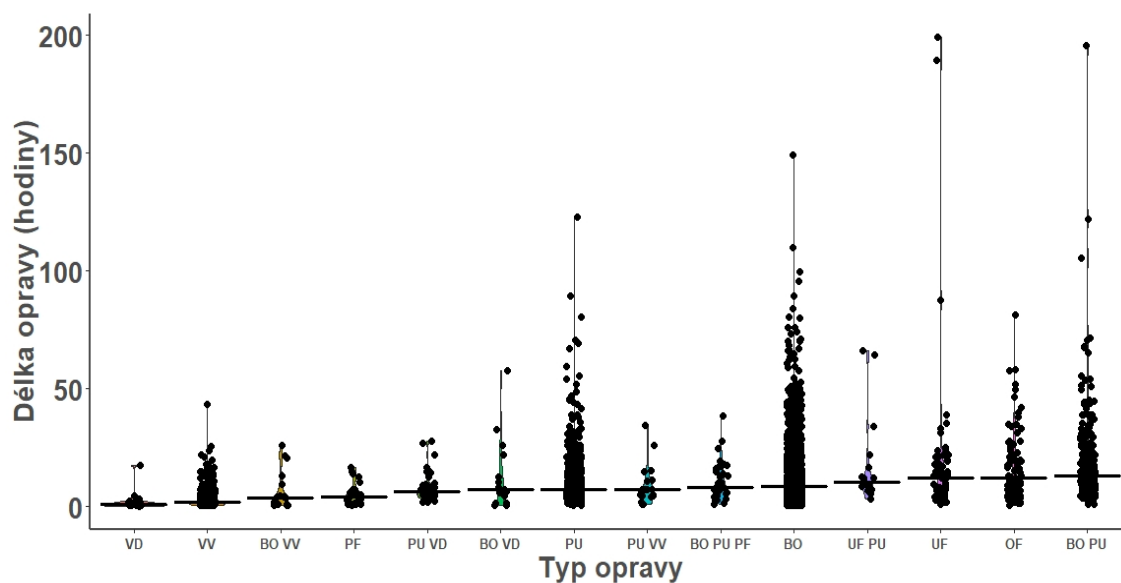
Graf 7 – Spearmanův korelační koeficient – délka opravy v hodinách vs. váha formy v kilogramech

Výměna vložky je další proměnná, která umožňuje testovat její důležitost vzhledem k délce opravy. Tedy zda informace, jestli byla výměna vložky provedena, závisí na čase potřebném pro opravu formy. Graf číslo 8 zobrazuje závislost výměny vložky na celkové délce opravy, pro zobrazení byl zvolen tzv. houslový graf, pro jeho přehlednost v zobrazení a možnosti vykreslit hustotu proměnné, a i její medián (medián skupiny Výměna vložky ano = 5,25; Výměna vložky ne = 7,50) a tedy lze s jeho pomocí lépe popsat celou distribuci dat. Oproti například box-plotu se jedná o velkou výhodu, protože pomocí něj lze zobrazit pouze souhrnnou statistiku (například kvartily atd.). Již podle grafu je ale zřejmé, že medián je výše položen u kategorie Ne, tedy u procesů, u kterých nebyla vyměněna vložka. Z toho plyne, že dle mediánu jsou náročnější procesy, u kterých výměna vložky neproběhla. Pro testování, zda je toto zjištění statisticky významné, byl vybrán Mann-Whitney neparametrický test, vzhledem k již výše popsanému zamítnutí normálního rozdělení u proměnné délky opravy. P-hodnota testu vyšla menší než 0,05 a tedy je mezi kategoriemi statistický rozdíl. Přestože absolutní rozdíl v mediánu existuje, je velmi nízký a dosahuje pouze hodnoty 2,25 hodiny, což je na škále až do 200 hodin nepatrný výsledek.



Graf 8 – Houslový graf – závislost délky opravy v hodinách na informaci na výměně vložky

Poslední proměnnou je typ opravy. V grafu číslo 9 je tato proměnná zobrazena v závislosti na délce opravy v hodinách. Pro zobrazení byl opět využit tzv. houslový graf. Typ opravy je seřazen vzestupně dle mediánu celkové délky opravy v hodinách. Z obrázku je vidět, že oprava VD má nejmenší medián délky opravy, k čemuž ale může přispívat i menší počet záznamů (27). Naopak jako nejnáročnější oprava z hlediska mediánu se jeví BO PU a jak je vidět z grafu obsahuje značně odlehlou hodnotu, ale vzhledem k tomu, že byl zvolen medián a ne průměr, není střední hodnota tímto extrémem negativně vychýlena. Tento typ opravy má 265 záznamů. Za povšimnutí stojí typ opravy BO, který je nejčetnější a má ho celkově 2 466 záznamů. I přes velký počet opakování se zdá poměrně homogenní, přičemž je v tomto ohledu následován dalším typem opravy a to opravou PU, která je na druhém místě co do četnosti (1 307). Typ opravy PU se však nachází spíše v první polovině grafu číslo 9 a má tedy medián spíše podprůměrný. Pomocí p-hodnoty menší než 0,05 ve zvoleném Kruskal-Wallisově testu lze zamítnout nulovou hypotézu, že se délka opravy v různých typech opravy od sebe neliší a tato proměnná je tedy statisticky významná.

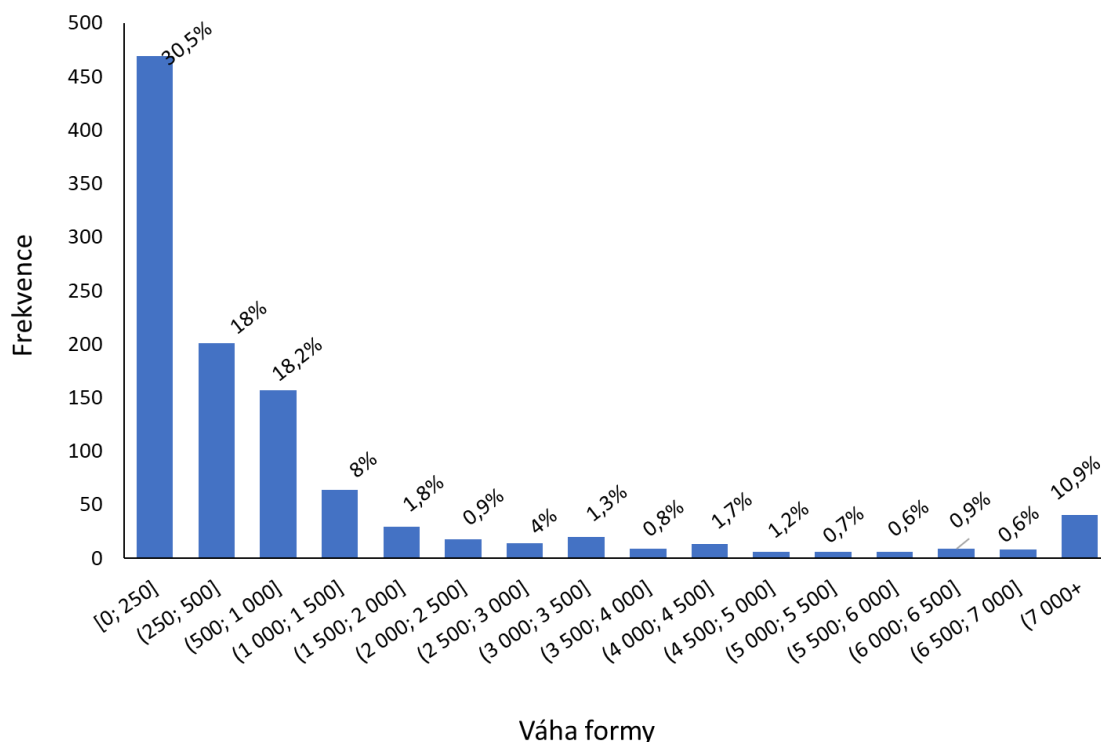


Graf 9 – Houslový graf – závislost délky opravy v hodinách na typu opravy

3.3.2 Analýza souboru dle rozhodovacího algoritmu

Pro další analýzu datové sady došlo jak k úpravě některých proměnných, pro jejich lepší interpretaci, tak k úpravě celého souboru.

U proměnné váha formy byla využita kategorizace, která je znázorněná v grafu 3, ale první kategorie byla ještě navíc rozdělena na dvě podkategorie, a tedy na váhu pod 250 a váhu 250 až 500 kg. Toto rozdělení bylo z důvodu velkého počtu forem a záznamů v první kategorii. Nové váhové kategorie jsou zobrazeny v grafu číslo 10. Jednotlivé počty představují počty forem v dané váhové kategorii (jedna forma je zastoupena pouze jednou), procento nad váhovou kategorií potom představuje, kolik procent záznamů daná váhová kategorie obsahuje (jedna forma je zastoupena dle počtu oprav – řádků v datovém souboru).



Graf 10 – Kategorizace proměnné váhy formy v kilogramech

Dále byl celý soubor agregován pomocí identifikační proměnné formy (číslo formy), kategorizované váhové kategorie, informace, zda byla provedena výměna vložky, a nakonec typu opravy. Pro délku opravy byl zvolen průměr i medián. Příklad takto agregovaných dat představuje tabulka 2. Takto upravený soubor má nový počet řádků 1 962. V tabulce je zřetelné, že forma číslo 0812-02 má váhovou kategorii od 500 do 1 000 kg včetně a v tomto řádku má kombinaci vyměněné vložky a typ opravy VV. Tato kombinace se nachází v datovém souboru pouze jednou, a proto je mediánová a průměrná doba v hodinách stejná a jedná se o 3,5 h. Naproti tomu například forma číslo 1-1008 (patřící do nejmenší váhové kategorie 0 až 250 kg včetně), u které v této již opravované kombinaci procesů (vložka vyměněna nebyla a jde o typ opravy BO), byla již opravována třikrát (mediánová hodnota oprav trvala 3,5 hodiny a průměrná 7). Z těchto hodnot je zřetelné, že nejde o proces, který má vždy podobný čas opravy a mohou se vyskytovat i extrémní hodnoty. Z tohoto důvodu je dále uvažována mediánová hodnota opravy. Vzhledem ke skutečnosti, že jednotlivé formy jsou jednoznačně popsány jen svou váhou, která se (jak již bylo dříve zmíněno) v čase nemění, je přistoupeno k popisované agregaci. Jednotlivé záznamy, které se liší pouze délkou opravy v hodinách nelze z dostupných informací lépe popsat a v procesu časové náročnosti opravy hraje důležitou úlohu pravděpodobně další proměnná, která v datovém souboru nebyla a je tedy v tento moment skrytá.

Tabulka 2 – Příklad agregovaného datového souboru, identifikátor číslo formy

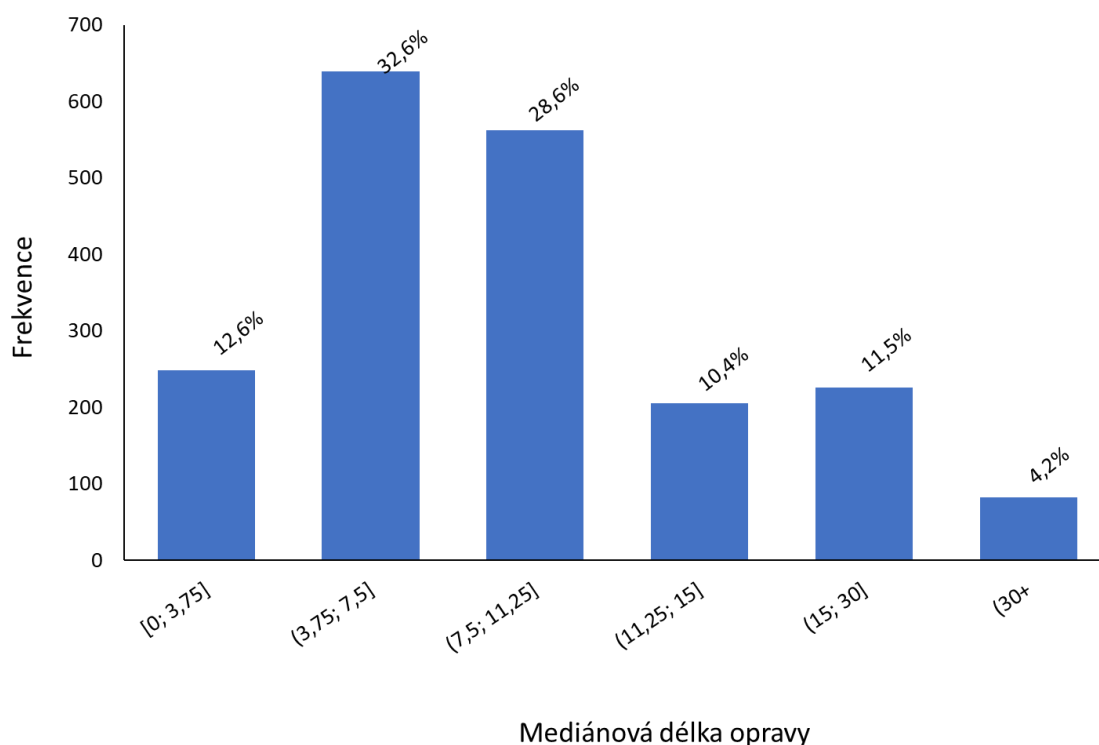
Číslo formy	Váhová kategorie formy	Výměna vločky	Typ opravy	Délka opravy v hodinách		Počet záznamů
				Medián	Průměr	
0812-02	(500;1 000]	A	VV	3,5	3,5	1
1-0079.1	[0;250]	N	PU	7,5	7,5	2
1-0876	(500;1 000]	A	BO PU	10	11,5	3
1-1008	[0;250]	N	BO	3,5	7	3

K vytvoření kategoriální proměnné ze spojitě došlo i v proměnné mediánu délky opravy. K tomu bylo přistoupeno z praktického hlediska, protože z dostupných dat je patrné (a jak již bylo předesláno), že jedna oprava na konkrétní váze formy je značně variabilní informace a je tedy nemožné určit přesný časový interval. Pro doklad této informace je vytvořena tabulka číslo 3. Jde o příklad agregovaného souboru, kde v řádku je informace o váhovém zařazení formy (forma je charakteristická svou váhou), dále informací, zda byla provedena výměna vločky a dále popis typu opravy. Počet řádku je tedy kombinací těchto tří informací. Z časových informací z proměnné délky opravy v hodinách je zřejmé, že první řádek v tabulce obsahuje časový horizont od 10,5 hodiny do 80,5 hodiny pro formu vážící od 5 500 – 6 000 kg včetně, kdy nedošlo k výměně vločky a byla třeba oprava PU a dále je došlo celkově k pěti opravám. Forma váhové kategorie od 6 000 do 6 500 kg včetně s výměnou vločky a typem opravy BO byla opravována celkově čtyřikrát, minimální délka opravy trvala hodinu a maximální 22,5 hodin a tento časový záznam byl přítomen u dvou oprav.

Tabulka 3 – Příklad agregovaného datového souboru, identifikátor váhová kategorie formy

Váhová kategorie formy	Výměna vločky	Typ opravy	Délka opravy v hodinách				
			Čas 1	Čas 2	Čas 3	Čas 4	Čas 5
(5 500; 6 000]	Ne	PU	10,5	17,5	21,5	25	80,5
(2 500; 3 000]	Ano	VV	16,5	16,5	43,5		
(6 000; 6 500]	Ano	BO	1	4,5	22,5	22,5	
(500; 1 000]	Ano	BO VV	0,5	20,5			

Nově vytvořenou proměnnou, která obsahuje kategorizovanou informaci o mediánové délce (z tabulky číslo 2) opravy zobrazuje graf 11. Kvůli většině záznamů v délce opravy do 30 hodiny, byly kategorie rozděleny dle pracovního půldne, tzn. 3,75 hodin. Opravy, které byly náročnější na počet hodin (poslední dvě kategorie), byly dále již děleny rozdílně, a to od 15 do 30 hodin a více než 30 hodin trvající oprava. Z 1 962 záznamů bylo nejméně náročných na opravu celkem 12,6 % záznamů, jejíž čas opravy se vešel do mediánové hodnoty 3,75 hodin.



Graf 11 – Kategorizace mediánové délky opravy v hodinách

Pro představu, jak vypadá nově upravený datový soubor, slouží tabulka číslo 4. V tabulce je zřejmé, že jedna forma se může vyskytovat ve více řádcích dle svých existujících kombinací proměnné výměny vložky a typu opravy. Například forma číslo 1-0218 se v tomto datovém výřezu vyskytuje celkově dvakrát. V prvním případě byla této formě vyměněna vložka a byla provedena oprava BO, časový horizont této opravy se v souboru vyskytoval v mediánovém rozmezí od 0 do 3,75 hodin včetně. Jinak řečeno mediánově bude třeba na opravu této formy při opravě BO a vyměnění vložky až polovina denní pracovní doby. Ve druhém případě byla vložce provedena jiná oprava, a to oprava typu PU, tato oprava je časově náročnější a spadá do kategorie od 3,75 hodiny do 7,5 hodiny. Naproti tomu forma číslo 1-0346.1, která spadá do váhové kategorie 250 až 500 kg má časový horizont opravy od více jak 15 do 30 hodin včetně v případě, pokud jí nebyla vyměněna vložka a byla provedena oprava BO PU.

Tabulka 4 – Upravený agregovaný soubor

Číslo formy	Váhová kategorie formy	Výměna vložky	Typ opravy	Kategorizovaná mediánová délka opravy v hodinách
1-0218	(500;1 000]	A	BO	[0; 3,75]
1-0218	(500;1 000]	A	PU	(3,75; 7,5]
1-0243	[0;250]	A	BO	(3,75; 7,5]
1-0346.1	[250;500]	N	BO PU	(15; 30]

Jako klasifikační technika byly zvoleny rozhodovací stromy, pro svá lehce interpretovatelná a hierarchicky uspořádaná rozhodovací pravidla. Vybrán byl strom typu CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detector) z důvodu jeho navržení pro kategoriální proměnné. Závisle proměnnou v tomto případě představuje kategorizovaná mediánová délka opravy (graf 11) a prediktory jsou váha formy, typ opravy a proměnná obsahující informaci o výměně vložky. Pro validaci klasifikace byla zvolena křížová validace s velikostí vzorku 10. Kritéria pro zastavení růstu stromu jsou počet větvení stromu, které je zvoleno na maximálně dvě, dále počet pozorování v koncovém uzlu, které je minimálně 50 a v poslední řadě počet pozorování v mateřském uzlu, který se již nemůže dělit, v tomto případě je zvolena velikost 100.

V grafu číslo 12 je zřetelně vidět výsledek rozhodovacího stromu, strom využil obě dvě větvení stromu a pouze dvě z nabízených tří vysvětlujících proměnných (typ opravy a váha formy). V prvním větvení se z kořene vytvořilo celkově 5 skupin na základě typu opravy, je tedy zřetelné, že v tomto případě je více než váha formy vhodnějším prvním kritériem typ opravy. Ten algoritmus dělí do pěti uzlů. První uzel zahrnuje opravy PU VV, BO VV a PU VD, tento uzel obsahuje celkově 75 záznamů, a proto u něj již nemůže dojít k dalšímu dělení, protože již naplnil jedno stop kritérium, kterým je počet záznamů. Je zřetelné, že v těchto typech oprav jsou formy, u kterých převažuje doba opravy od 3,75 do 7,5 hodiny, tato kategorie zahrnuje 44 % záznamů daného uzlu. Je ale na druhou stranu dále zřejmé, že skupina je značně heterogenní, protože obsahuje zástupce ze všech možných časových kategorií. Pozitivem však je, že více než 80 % oprav v tomto uzlu se mediánově vejde do jedné a půl směny (11,25 hodin). Druhý uzel představuje skupinu s typem oprav VV, PF, a VD, tato skupina zahrnuje 105 záznamů a dále se nedělí (může to být z důvodu nevytvoření dceřiných uzlů, které by všechny obsahovaly více jako 50 pozorování). Skupina je početnější než skupina z uzlu jedna a vypadá i více homogenní, protože více jako 80 % těchto oprav se mediánově vejde do jedné směny (7,5 hodiny). Třetím uzlem jsou opravy typu PU a BO, jde o uzel s nejčetnějším počtem záznamů. Celkově jde v tomto případě o 1 423 záznamů a uzel se dále dělí na dalších pět dceřiných uzlů dle váhy forem. Jde o velmi nehomogenní skupinu dceřiných uzlů, které již na první pohled mají největší podíl záznamů v náročnějších časových intervalech, úměrně tíži forem. Toto zjištění je i ověřením korelace z grafu číslo 6, ale jak bylo již řečeno, jde o velmi slabou korelaci mezi délkou opravy a hmotností formy, což je i v těchto uzlech velmi patrné a jednotlivé skupiny uzlů vytvořené dle váhy jsou velmi nehomogenní. Čtvrtý uzel představuje opravu typu BO PU s celkově 189 záznamy, které jsou spíše časově náročnější. Uzel se dále dělí na dva dceřiné uzly, které se liší váhou forem. Opět lze pozorovat korelaci váhy a trvání opravy, ale je zřetelné, že jde o slabou korelaci.

Poslední, tedy pátý uzel, který vyrůstá přímo z kořene, obsahuje opravy typu UF, OF, BO VD, UF PU, BO a PU PF. Uzel je velmi heterogenní a obsahuje 170 záznamů, takže došlo k využití potenciálu pro tvorbu jeho dvou dceřiných uzlů dle váhy formy. V prvním dceřiném uzlu se vyskytují formy lehčí se spíše méně náročným časovým horizontem na opravu, 75 % záznamů; lze mediánově zařadit do 11.25 hodin. Naopak druhý uzel představuje formy vážící nad 250 gramů s velmi heterogenní časovou náročností úpravy forem.

Jak bylo již předesláno, pro validaci klasifikace byla využita metoda křížová validace. Jak je z tabulky 5 zřejmé, klasifikační strom dosáhl pouze 41,1 % úspěšnosti klasifikace, což je na první pohled velmi malé procento úspěšnosti. Pokud se do tabulky podíváme pozorněji, lze vyčíst, že klasifikátor nejvíce vkládá opravy do kategorie od 3,75 do 7,5 hodin a v této kategorii jde z 69 % o správný předpoklad, to je ale jediná hodnota, která dosahuje alespoň 50 %. Velmi nepřesným se jeví klasifikátor v opravdu malých časech (do 3,75 hodin), kde lze mluvit o úspěšnosti klasifikace pouze z 26,2 %.

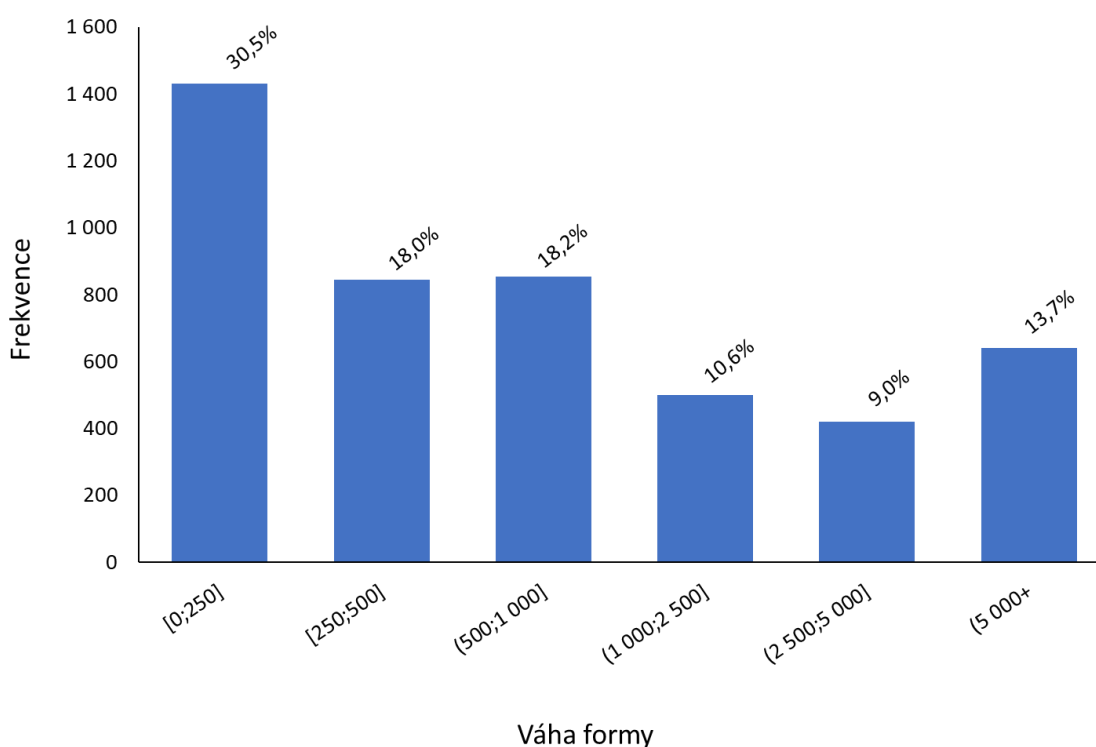
Tabulka 5 – Validace rozhodovacího stromu pomocí techniky křížové validace

Pozorování mediánu délky opravy	Predikce mediánové délky opravy						Procenta správně zařazená
	(0; 3,75]	(3,75; 7,5]	(7,5; 11,25]	(11,25; 15]	(15; 30]	(45+]	
(0; 3,75]	65	129	34	0	20	0	26,2 %
(3,75; 7,5]	22	441	137	0	39	0	69,0 %
(7,5; 11,25]	9	308	196	0	49	0	34,9 %
(11,25; 15]	3	69	90	0	43	0	0,0 %
(15; 30]	6	51	64	0	105	0	46,5 %
(45+]	0	6	20	0	56	0	0,0 %
Celková procenta	5,4 %	51,2 %	27,6 %	0,0 %	15,9 %	0,0 %	41,1 %

Výsledek klasifikačního stromu (graf 12) není na první pohled úspěšný a určit časový horizont formy je komplikované. Nicméně nejde o překvapivý výsledek. Váha forem je na čase, který je potřeba pro opravu sice statistický významný faktor, ale s opravdu velmi malou velikostí závislosti a neplatí tedy v tomto případě přesná kauzalita, že čím menší forma tím menší čas na opravu. Jak bylo již zmíněno a předpokládá se, v tomto vztahu hraje důležitou roli proměnná, která v datovém souboru nebyla a je tedy v tento moment skrytá. Dále jsou jednotlivé typy oprav v délce opravy značně nehomogenní a již dle grafu číslo 9 je viditelné, že typy oprav, které jsou sloučením několika jednotlivých, nemají mediánově náročnější čas opravy. Toto zjištění může mít mnoho důvodů, ať již od lidského faktoru selektivního natahování jednotlivých úkonů, po špatně vyplněný časový rámec opravy až po špatně vyplněný typ opravy. Tyto proměnné jsou proměnné, na jehož základě algoritmus klasifikace pracuje a jak je popsáno, jejich variabilita je velká.

3.3.3 Analýza souboru dle jednotlivých záznamů

Jako další varianta přístupu pro zpracování datového souboru se nabízí postupné filtrování a analyzování jednotlivých záznamů. Jde o časově velmi náročnou metodu, která závisí často na subjektivním zhodnocení jednotlivých záznamů. Pro práci je ale vhodné nastavit, co nejvíce obecná pravidla tak, aby nedocházelo k vyřazování pozorování náhodně a nesystematicky. Pro tuto část analýzy došlo ke kategorizaci váhy formy odlišně než v předchozím případě, protože rozhodovací stromy jsou schopny si kategorie slučovat, avšak pro postupné analyzování jednotlivých záznamů je více váhových kategorií značně nepřehledné. Nová kategorizace váhy forem je znázorněna na grafu číslo 13.



Graf 13 – Druhá kategorizace váhy formy

Soubor oprav forem je žádoucí zpracovávat jednotlivě dle typu opravy, jako první typ opravy je tedy dále popsán typ PU, který je druhým nejčetnějším. Datový soubor byl pro lepší orientaci upraven, tato úprava je zřetelná v tabulce 6. V tabulce jeden řádek obsahuje jednu opravu, soubor je seřazen dle váhové kategorie, čísla formy a vzestupně času opravy. Čas opravy je seřazen vzestupně, aby byl možný vytvoření další sloupce, a to v rámci jedné formy předchází čas opravy, tato informace je důležitá pro stanovení rozdílu dvou po sobě jdoucích časech opravy v jedné formě. Poslední sloupec představuje počet záznamů formy, jinak řečeno počet oprav jednotlivých forem. Přímě v uvedeném výřezu datového souboru jsou příklady tří forem, forma čísla 217264-00 byla opravena dvakrát s časy 3 a 5,5 hodiny, rozdíl těchto časů představuje 2,5 hodiny.

Tabulka 6 – Upravený datový soubor

Číslo formy	Váhová kategorie	Čas opravy	Čas opravy (předchozí)	Rozdíl	Počet záznamů formy
217264-00	[0;250]	3			2
217264-00	[0;250]	5,5	3	2,5	2
217337-00	[0;250]	3,5			1
217479-00	[0;250]	3,5			2
217479-00	[0;250]	24	3,5	20,5	2

Při hledání extrémů rozdílů mezi časy oprav jednotlivých forem bylo stanoveno několik podmínek, za kterých došlo k vyřazení záznamů. Ve váhové kategorii 0 až 250 gramů je vyřazovací kritérium rozdíl dvou časů jedné formy, který je větší než 6 hodin (vyřazuje se extrémní hodnota). Další kritérium se týká forem, které mají pouze jeden záznam (jednu opravu) a vyřazují se takové záznamy, které mají delší časovou zátěž opět než 6 hodin. Ve váhové kategorii od 250 do 500 gramů se liší vyřazovací kritérium od předchozího pouze hranicí a tou je v tomto případě 7 hodin. Ve váhové kategorii od 500 do 1 000 gramů je hranice rovna 7,5 hodiny, a tedy jedné směně. Rozdíl nastává ve váhové kategorii od 1 000 do 2 500 gramů, kde rozdíl časů záznamů jedné formy se sice nemění a je to 7,5 hodiny, ale je stanovena i nejnižší hodnota, která nesmí být menší než 4 hodiny a zároveň je stanovena maximální hodnota pro formy s jedním záznamem a ten je v tomto případě 16 hodin. V předposlední váhové kategorii, a to váze od 2 500 do 5 000 gramů je rozdíl od předchozí stanovením nejmenší a největší časové náročnosti v případě jednoho záznamu a to hranic 7 jako nejmenšího záznamu a 23 jako největšího záznamu. Poslední váhová kategorie mění předchozí pouze hranicí nejmenší 9 a největší 40. Tato přísná kritéria mají za cíl odstranit extrémní hodnoty a bylo celkově odstraněno 299 záznamů.

Tento negativní vztah k jakémukoli pokusu o vytvoření časového horizontu je pro ilustraci znázorněn v tabulce číslo 7. V ní je znázorněna jedna a táž oprava VV u jedné formy a je tedy zřejmé, že kromě neznámé, která různě definuje časový horizont opravy mezi jednotlivými formami je zde další neznámá proměnná, která by vysvětlila velké časové rozdíly u jednoho typu opravy na jedné formě. Přičemž na tomto příkladu je patrné, že časy oprav stoupají postupně a nelze o žádném záznamu mluvit jako o extrémním. Tato skutečnost pouze potvrzuje přítomnost dalších proměnných, které do složitého vztahu forem, jejich typů oprav a časové náročnosti vstupují a bez nichž nelze ani postupným procházením záznamů stanovit jednoznačný časový horizont opravy.

Tabulka 7 – Příklad časové heterogenity formy ve váhové kategorii nad 5 000 g s opravou typu VV

Číslo formy	Váhová kategorie	Čas opravy
VB08025	(5 000+	0,5
VB08025	(5 000+	1
VB08025	(5 000+	2
VB08025	(5 000+	3,5
VB08025	(5 000+	7,5
VB08025	(5 000+	7,5
VB08025	(5 000+	8
VB08025	(5 000+	10,5
VB08025	(5 000+	13
VB08025	(5 000+	13,5
VB08025	(5 000+	17,5

Možný výsledek upraveného datového souboru pro opravu PU (preventivní údržba) je zobrazen v tabulce 8. Je zde patrné, že časová náročnost v čase dle mediánu i průměru v čase stoupá v závislosti na zvětšování váhové kategorie formy. A i přes přísná kritéria pro odstranění extrémních hodnot je však zřetelné (dle směrodatné odchylky i rozsahu percentilu), že heterogenita v jednotlivých váhových kategoriích je i nadále velká. Tento výsledek potvrzuje výsledky z předchozího výstupu klasifikačního stromu.

Tabulka 8 – Výsledek upraveného souboru opravy PU a časy oprav pro váhové kategorie forem

Váhová kategorie formy	Délka opravy				
	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	05. percentil	95. percentil
(0;250]	5,32	2,75	4,5	2,5	9,5
(250;500]	6,21	2,61	6	3	11,5
(500;1 000]	7,39	3,48	7	3	15
(1 000;2 500]	10,56	6,12	9,5	4	21
(2 500;5 000]	15,23	11,84	11,5	6,5	41,5
(5 000+	17,06	8,58	16,5	5	32

Pro úpravu byla jako druhý typ vybrána oprava typu VV (výměna vložky). Po úpravě datového souboru dle tabulky 6 bylo vytvořeno několik kritérií, pro odstranění záznamů. U první váhové kategorie do 250 kg byly ponechány pouze záznamy s délkou opravy pouze do 4 hodin včetně. Formy do 500 kg byly ponechány, pokud byla délka opravy do 10 hodin. Stejně kritérium bylo ponecháno pro váhovou kategorii forem do 1 000 gramů. Ve váhové kategorii do 2 500 kg byl přítomen pouze jeden záznam, a proto byl pro nereprezentativnost vyloučen. Ve váhové kategorii do 5 000 kg byly ponechány záznamy, které trvaly do 20 hodin. V poslední váhové kategorii nad 5 000 nebyl odstraněn žádný záznam. Po těchto úpravách bylo celkově odstraněno 12 záznamů.

Výsledek pro opravu typu VV je zobrazen v tabulce číslo 9. Je zřetelné, že oprava VV je obecně méně časově náročná než oprava typu PU. Dále je patrné (například dle směrodatné odchylky), že jde o více homogenní typ opravy.

Tabulka 9 – Výsledek upraveného souboru opravy VV a časy oprav pro váhové kategorie forem

Váhová kategorie formy	Délka opravy				
	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	05. percentil	95. percentil
(0;250]	2,36	0,87	2,3	1	4
(250;500]	4,41	2,07	4	2	8,5
(500;1 000]	2,35	1,83	1,5	0,5	6
(1 000;2 500]	-	-	-	-	-
(2 500;5 000]	5,04	4,43	4	0,5	16,5
(5 000+)	3,27	4,30	1	0,5	13,5

4 Vyhodnocení analýz a identifikace problémů

Jak bylo již v předchozí kapitole několikrát zmíněno, datový soubor není ideální. Vyskytují se v něm zřetelně nepřesnosti a předpokládané chyby v kódování.

Výběr možných metod, které nepotřebují významný lidský faktor a vytvoří se pomocí aplikací analytických pravidel, byli představeny v části práce 3.3.2 Analýza souboru dle rozhodovacího algoritmu. Analytická pravidla se jeví, jako nejefektivnější varianta postupu, ale v tomto případě naráží na limity souboru. Pomocí jednotlivých analytických metod došlo nejdříve k popisu datového souboru a tím pádem k jeho lepšímu pochopení.

Dle grafů a testů byly nalezeny závislosti, které byly nicméně buď velmi slabé (například korelace váhy formy a délka opravy) anebo zatíženy problémy datového souboru (již několikrát zmiňovaná vysoká variabilita jednotlivých proměnných, například závislost délky opravy na typu oprav v grafu číslo 8). Pro vyhodnocení dat byla použita metoda klasifikačních stromů, konkrétně typ CHAID. Výsledek pravidel je znázorněn v grafu číslo 11, ve kterém je zřetelný stromovitý tvar grafu. Jde o metodu s možným grafickým výstupem. Ten znázorňuje jednotlivé navrhované skupiny, které se vytvořily pomocí rozdělení typů oprav a váhové kategorie, které algoritmus vyhodnotil jako nejlepší dělicí kritéria. Dle výstupu je zřetelná snaha o vytvoření, co nejhomogennějších skupin, která je v některých skupinách zřejmá, například skupina s typem opravy VV, PF a VD, v některých skupinách, avšak převážila velká variabilita souboru a stop kritéria algoritmu.

Další možnost vytvoření časových intervalů pro opravy bylo ruční prohledávání, avšak stanovování norem ve velkém datovém souboru se zdá velmi neefektivní a určitě bude i značně ovlivněné lidským faktorem. Nicméně v diplomové práci má své místo v části 3.3.3 Analýza souboru dle jednotlivých záznamů a je z něj zřetelné, že i po časově velmi náročné úpravě dat a zkoumání jednotlivých záznamů nevyšel relevantní výstup, který by jednoznačně určil časový interval přidělený k nějaké opravě. Pro určení extrémních hodnot a nevalidních záznamů nebylo možno vytvořit robustní a statisticky významné kritérium a mohlo dojít v tomto bodě ke zkreslení výsledku. Zmíněný předpoklad je nicméně v této fázi možný přehlédnout, protože v tomto momentu je důležité stanovit první kritéria pro zlepšení datového souboru a možný výstup časové náročnosti opravy.

Největší problém celé práce byla kvalita souboru, která odráží zadávací formu pracovníků. Další důležitou složkou je ale i nepřítomnost několika skrytých proměnných, které evidentně v souboru chybí a které by mohly částečně vysvětlit různorodost časových záznamů jednotlivých forem. Jak bylo již předesláno, předpoklad je chybějící proměnné, která odráží variabilitu uvnitř váhových kategorií forem a dále uvnitř jednotlivých typů oprav.

5 Návrh řešení – doporučení

Pro vhodné určení časových norem jednotlivých skupin forem je důležité doplnit soubor o proměnné, které se zdají jako esenciální pro zmenšení nevysvětlitelné variability souboru. Jako jedna z proměnných, která se k tomu nabízí, je konstrukční složitost formy. Tato proměnná by mohla vysvětlit část variability váhově podobných skupin forem s jejich velmi heterogenními časovými náročnostmi jednotlivých oprav.

V této fázi datového souboru není možné využít automatických analytických programů, aby došlo k nějakému v praxi možnému výstupu. Nicméně po vylepšení datového souboru a přidání dalších proměnných je lze znovu aplikovat a vytvořit tak robustní statisticky podložené výstupy, které nebudou pro konkrétního normovače již časově náročným postupem. Výhoda analytických postupů je totiž dále i v jejich možných automatizacích, které po pouhém spuštění provedou celý proces samy. Proto navrhovaný způsob řešení je i nadále možný využít a doporučuji jej po úpravě datového souboru.

Pro prvotní určení časových intervalů jednotlivých forem nicméně navrhuji postup. Pro tento postup po zhodnocení jednotlivých záznamů jsou vhodné pouze kategorie opravy PU (preventivní údržba) a VV (výměna vložky), které mají jasně definované operace. U těchto skupin lze nastavit prvotní normovaný čas, u kterého nutně ale musí docházet k průběžným úpravám. Výsledek je znázorněn v tabulce 10 (vychází z tabulek 8 a 9). U oprav typu PU a VV byla po úpravách vyhodnocena délka opravy ve váhových kategoriích. Délka byla v tabulkách 8 a 9 popisována průměrem, směrodatnou odchylkou a mediánem s 5. a 95. percentilem. V těchto tabulkách je zřejmé, že mediánová a průměrná je značně rozdílná, což značí i přes provedenou úpravu dat o velké variabilitě a o přítomnosti extrémních hodnot. Z toho důvodu je pro stanovení normy opravy využita mediánová hodnota, která není citlivá na extrémní hodnoty. U extrémních hodnot není známo, jestli se jedná o přirozenou variabilitu souboru, kterou lze vysvětlit skrytými proměnnými anebo se jedná o zadávací formu pracovníků a jejich chyby v zadávání.

Od mediánové hodnoty navrhuji odečíst a přičíst dvě hodiny, což stanoví časový interval opravy formy ve váhových kategoriích. Například v opravě typu PU a ve váhové kategorii od nula do 250 kg je časový interval od 2,5 do 6,5 hodiny. Dvě hodiny, které se k mediánu přidávají a nemají jasnou oporu v datech, ale jedná se o celkově čtyřhodinový časový interval, po který je možno konkrétní formu opravit. Jedná se tedy o interval, který je pouze prezentovaný jako první návrh. Důležité je nicméně monitorovat opravy, které se v tomto intervalu nebudou nacházet, v těchto případech je důležitá podrobná dokumentace a jejich vyhodnocení. Po určitém čase je poté důležité hranice přehodnotit a upravit dle aktualizovaných dat. Nicméně dle dokumentace bude možné odstranit z procesu stanovení norem výjimečné opravy, ke kterým se bude přistupovat individuálně, jelikož z dokumentace již bude známo, že se jedná o opravy, které jsou svou náročností výjimečné. Tyto pak do procesu nebudou postoupeny a bude k nim přistupováno na individuální úrovni.

Tabulka 10 – Výsledek opravy PU a VV a časy oprav pro váhové kategorie forem

Váhová kategorie formy	PU mediánová náročnost opravy	PU návrh rozsahu času opravy	VV mediánová náročnost opravy	VV návrh rozsahu času opravy
(0;250]	4,5	[2,5; 6,5]	2,3	[0,3; 4,3]
(250;500]	6	[4; 8]	4	[2; 6]
(500;1 000]	7	[5; 9]	1,5	(0; 3,5]
(1 000;2 500]	9,5	[7,5; 11,5]	-	-
(2 500;5 000]	11,5	[9,5; 13,5]	4	[2; 6]
(5 000+]	16,5	[14,5; 18,5]	1	(0; 3]

Hlavním doporučením pro údržbu a opravy forem je bližší specifikace operace BO (běžná oprava). Tato skupina je nejobsáhlejší z celého datového souboru a jejím rozdělením do několika skupin, by bylo možno získat přesnější informace o jejím využívání. V tuto chvíli je příliš obecná a data pro analýzu ní těžko uchopitelná.

Ve shrnutí shledávám výhody a nevýhody obou výše popisovaných metod.

V případě využití klasifikačních stromů

Výhody:

- automatická, rychlá metoda,
- výsledek založen na základě statistické významnosti,
- možnost automatizovaného přehledného grafického výstupu,
- možnost postup naskriptovat pro opakované a rychlé aktualizace.

Nevýhody:

- nevhodnost využití u souboru, který má příliš velkou nevysvětlitelnou variabilitu,
- nutnost odborné znalosti analytických metod,
- nevhodnost využití u velmi malých souborů.

Stanovení časového horizontu opravy dle jednotlivých záznamů

Výhody:

- možnost přístupu k záznamům jednotlivě,
- není nutná odborná znalost pokročilých analytických metod,
- přímá kontrola nad stanovením hranic časových intervalů oprav jednotlivých forem.

Nevýhody:

- stanovení hranic je ovlivněno lidským faktorem,
- časová náročnost,
- nelze jednoduše automatizovat,
- nutná znalost alespoň základních statistických metod.

Pro lepší pochopení potřeb a stanovení časové náročnosti oprav by byla vhodná jedna z možností uvedených níže:

- Proškolení některého z pracovníků v systému analytických metodik a softwaru analýzy dat, a to z důvodu správné interpretace dat a jejich správného využití v praxi,
- Zaměstnání analytika na plný úvazek nebo i částečný úvazek, či najmout externistu a nechat jím průběžně prověřovat celý podnikový systém a tím zefektivnit celou strukturu plánování, organizování a podnikové strategie,
- Najmutí renomované firmy zabývající se analýzou dat a nechat prověřit oblasti, které mohou být pro firmu zásadní a můžou jí pomoci k snadnějšímu dosažení vytyčených cílů.

Shrnuté nejdůležitější rozdíly metod jsou v tabulce 11. Lze si všimnout, že pro metodu CHAID je třeba pracovník s expertními znalostmi analýzy, ale velkým přínosem je, že se jedná o metodu, kterou lze automatizovat a zpracování je pak rychlé. Další výhodou je, že výsledné rozdělení není zatíženo subjektivním rozhodováním, ale jedná se o nezávislou metodu založenou na datech. Pro tuto metodu je však zapotřebí kvalitního datového souboru, ideálně ve standardizované formě. Přístup metody jednotlivých záznamů, nekladeš na zpracovatele vysoké nároky, co se týče expertních znalostí analýz dat, ale nevýhodou je. Že proces je jen těžce automatizovaný a zpracování je dlouhé. Zpracování je také přímo závislé na zkušenosti normovače a není tak plně objektivní.

Za nutnost ovšem považuji proškolení pracovníků z hlediska vykazování práce a dále provádění průběžné kontroly zadávání. Tento faktor totiž do budoucna usnadní a zrychlí proces vyhodnocování a stanovování časových intervalů oprav. Nezanedbatelné množství času při procesu analýzy případně hledání hranic na základě individuálních záznamů totiž zabere čištění a úprava datového souboru. Čím více jednotný a ideálně standardizovaný systém zadávání, tím efektivnější vyhodnocování může být. Do budoucna by pak mohlo být potenciálně zajímavé se zaměřit na vyvinutí systému, díky kterému by bylo možné lépe evidovat odvedenou práci a směřovat tak k vyšší efektivitě.

Tabulka 11 – Porovnání jednotlivých metod

Porovnání metod stanovení času opravy forem					
	Expertní znalost	Délka zpracování	Pracnost	Objektivita	Podmínky použitelnosti metody
Metoda CHAID	Ano, pokročilá	Částečně automatické	Minimální	Maximální, je zajištěna statistickými pravidly	Kvalitní datová sada
Metoda dle jednotlivých záznamů	Minimální	Dlouhé	Velká	Značně ovlivnitelná zkušenostmi normovače	Kvalifikovaný normovač

6 Celkové zhodnocení přínosu práce a závěr

Mezi cíle diplomové práce patřila obecná charakteristika řešené problematiky. Tento bod byl popsán na začátku diplomové práce, kde je vysvětlena metodika a teoretický základ. Rovněž byly popsány použité analytické metody a možnosti vizualizace. Samotná analýza současného stavu byla provedena pomocí vybraných analytických metod. Nejprve byl zhodnocen stav vykazování a nejdůležitější charakteristiky souboru, poté následovala samotná analýza.

Pro diplomovou práci byla předána data ve formě dvou souborů, přičemž tyto datové soubory obsahovaly záznamy za rok 2018 a část roku 2019. Po spojení souborů bylo k dispozici celkem 4 888 řádků. Řádky obsahovaly celkově informaci o 1 102 unikátních formách. Výsledný soubor obsahoval 13 proměnných, přičemž mezi nejdůležitější patřily: číslo formy, váha formy, výměna vložky, typ opravy a počet hodin.

V závěru práce byl předložen návrh pro určení časových intervalů. Po zhodnocení jednotlivých záznamů jsou však pro tento návrh vhodné pouze kategorie opravy PU (preventivní údržba) a VV (výměna vložky), které mají jasně definované operace. U těchto skupin lze nastavit prvotní normovaný čas, u kterého nutně ale musí docházet k průběžným úpravám. Návrh je blíže rozebrán v kapitole 5.

Byly také zhodnoceny výhody a nevýhody dvou přístupů, které je možné využít pro stanovení časových intervalů oprav. Těmito přístupy jsou klasifikační stromy a hodnocení jednotlivých záznamů.

Nakonec byla také navržena 3 možná řešení, která by do budoucna mohla přispět k lepšímu pochopení a stanovení časové náročnosti oprav. Patří mezi ně proškolení zaměstnance v analytických metodách a softwaru pro analýzu dat, zaměstnání analytika, který by průběžně prověřoval celý podnikový systém a tím by se zefektivnila celá struktura plánování, organizování a podnikové strategie nebo jako třetí možnost najmutí renomované firmy zabývající se analýzou dat, která by prověřila oblasti, které by moly být pro firmu zásadní a mohly pomoci k snadnějšímu dosažení vytyčených cílů.

Závěrečný apel je směřován k vhodnosti proškolení pracovníků z hlediska vykazování práce a dále provádění průběžné kontroly zadávání. To by do budoucna mohlo usnadnit a zrychlit proces vyhodnocování a stanovování časových intervalů oprav. Potenciálně zajímavé by dále mohlo být zaměření se na vyvinutí systému, díky kterému by bylo možné lépe evidovat odvedenou práci a směřovat tak k vyšší efektivitě.

7 Seznam použité literatury

- [1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [2] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Liberec: 2015 [cit. 2020-05-07]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/01.html>
- [3] KOŠTURIÁK, J. a Z. FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006. 237 s. ISBN 80-86851-38-9.
- [4] *ManagementMania* [online]. ManagementMania's Series of Management, 2016 [cit. 2020-05-10]. ISSN 2327-3658. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/>
- [5] ResearchGate. Box and whiskers plots of the most important variables. [online] 2020 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Box-and-whiskers-plots-of-the-most-important-variables-Slika-5-Graf-skatla-in-brki_fig4_259502391
- [6] Matplotlib. Box plot vs. violin plot comparison [online]. 2020 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: https://matplotlib.org/3.1.1/gallery/statistics/boxplot_vs_violin.html
- [7] PAVLÍK, Tomáš. DUŠEK Ladislav. *Biostatistika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2012. ISBN 978-80-7204-782-6.
- [8] KOLÁČEK, Jan. Statistické modelován. *Matematická biologie Masarykovi univerzity* [online] [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analiza-a-hodnoceni-biologickych-dat--statisticke-modelovani>
- [9] Advait Sarkar. The Kolmogorov-Smirnov Test: an Intuition. *WordPress* [online]. 2013 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://advaitsarkar.wordpress.com/2013/09/04/the-kolmogorov-smirnov-test-an-intuition/>
- [10] JARKOVSKÝ, Jiří. Analýza a management dat pro zdravotnické obory, Analýza klinických dat. *Matematická biologie Masarykovi univerzity* [online] [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinickych-a-biologickych-dat--analiza-a-management-dat-pro-zdravotnicke-obory>
- [11] KOMPRDOVÁ, Klára. *Rozhodovací stromy a lesy*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2012. ISBN 978-80-7204-785-7.
- [12] IBM. IBM SPSS Statistics [online]. 2020 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/products/spss-statistics>
- [13] *Statistický jazyk R* [online]. Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzita Karlova, 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://web.ftvs.cuni.cz/hendl/metodologie/rjazykinformace.htm>

- [14] R Project. The R Project for Statistical Computing [online] 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.r-project.org/>
- [15] R Studio. Introducing RStudio Team [online] 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://rstudio.com/>
- [16] KONEČNÁ, Kateřina a Jan KOLÁČEK. *Výpočetní matematické systémy*. Matematická biologie: e-learningová učebnice. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2015. 187 s. ISBN 978-80-210-8095-9.
- [17] LANDA, Václav. *Základy normování: praktická příručka pro normovače, technology a mistry výroby*. Louny: Rytmus – Václav Landa, 2019. ISBN 978-80-270-5483-1.
- [18] TOMEK, G.a V. VÁVROVÁ. *Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. Praha: Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-4486-5.
- [19] KEŘKOVSKÝ, M. *Moderní přístupy k řízení výroby*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, s. r. o., 2009. 137 s. ISBN 978-80-740-0119-2.
- [20] ŠAJDLEROVÁ, I. *Organizace a řízení výroby*. Ostrava: Fakulta strojní VŠB – TUO, 2012. 223 s. ISBN 978-80-248-2775-9.
- [21] *eJustice* [online]. Ministerstvo spravedlnosti České republiky, 2012 – [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-detail?dokument=57867395&subjektId=149420&spis=821647>
- [22] *Husqvarna Group* [online]. Husqvarna Manufacturing CZ s.r.o., 2020 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <http://husqvarnamanufacturing.cz/konstrukce-vyroba-forem>

7.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Vstřikovací stroj

Obrázek 2 – Otevřená dvoudesková vstřikovací forma

Obrázek 3 – Znázornění rozdílu mezi sloupcovým grafem a histogramem

Obrázek 4 – Příklad koláčového grafu

Obrázek 5 – Příklad korelačního grafu

Obrázek 6 – Příklad houslový graf (Violin plot) a boxový graf (Box plot)

Obrázek 7 – Příklad Q-Q grafů

Obrázek 8 – Grafická struktura rozhodovacího stromu

Obrázek 9 – Princip křížové validační techniky

Obrázek 10 – Jedna z částí výrobního provozu – Nástrojárna

Obrázek 11 – Vstřikovací forma

Obrázek 12 – Montážní linka

7.2 Seznam grafů

Graf 1 – Objem tržeb v horizontu 10 let

Graf 2 – Frekvence oprav forem

Graf 3 – Frekvence oprav a váha forem (v kg)

Graf 4 – Výměna vložky

Graf 5 – Typ opravy

Graf 6 – Délka opravy (v hodinách)

Graf 7 – Spearmanův korelační koeficient – délka opravy v hodinách vs. váha formy v kilogramech

Graf 8 – Houslový graf – závislost délky opravy v hodinách na informaci na výměně vložky

Graf 9 – Houslový graf – závislost délky opravy v hodinách na typu opravy

Graf 10 – Kategorizace proměnné váhy formy v kilogramech

Graf 11 – Kategorizace mediánové délky opravy v hodinách

Graf 12 – Výstup CHAID procesu

Graf 13 – Druhá kategorizace váhy formy

7.3 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Metody zkoumání práce

Tabulka 2 – Příklad agregovaného datového souboru, identifikátor číslo formy

Tabulka 3 – Příklad agregovaného datového souboru, identifikátor váhová kategorie formy

Tabulka 4 – Upravený agregovaný soubor

Tabulka 5 – Validace rozhodovacího stromu pomocí techniky křížové validace

Tabulka 6 – Upravený datový soubor

Tabulka 7 – Příklad časové heterogenity formy ve váhové kategorii nad 5 000 g s opravou typu VV

Tabulka 8 – Výsledek upraveného souboru opravy PU a časy oprav pro váhové kategorie forem

Tabulka 9 – Výsledek upraveného souboru opravy VV a časy oprav pro váhové kategorie forem

Tabulka 10 – Výsledek opravy PU a VV a časy oprav pro váhové kategorie forem

Tabulka 11 – Porovnání jednotlivých metod